

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program M2301 – Strojní inženýrství

Strojírenská technologie

zaměření strojírenská metalurgie

Katedra strojírenské technologie

Oddělení strojírenské metalurgie

Svařování komponentů zařízení na výrobu močoviny

Welding of Urea Production Plant components

Václav Kaška

KSP – SM – 564

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Heinz Neumann, CSc. – TU v Liberci

Konzultant diplomové práce: Ing. Jaromír Moravec, Ph.D. – TU v Liberci

Rozsah práce a příloh:

Počet stran: 83

Počet tabulek: 14

Počet příloh: 5

Počet obrázků: 29

Datum: 5. ledna 2011

VOLNÝ LIST PRO ZADÁNÍ

A N O T A C E
TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní

Katedra strojírenské technologie
Oddělení strojírenské metalurgie

Studijní program: M2301 – Strojní inženýrství

Diplomant: Václav Kaška

Téma práce: Svařování komponentů zařízení na výrobu močoviny
Weldin of Urea Production Plant components

Číslo DP: KSP - SM - 564

Vedoucí DP: doc. Ing. Heinz Neumann, CSc. – TU v Liberci

Konzultant: Ing. Jaromír Moravec, Ph.D. – TU v Liberci

Abstrakt:

Diplomová práce se zabývá řešením problematiky korozní odolnosti komponentů výroby močoviny, jež jsou vzhledem k povaze media, které se pro výrobu používá, extrémně korozně namáhány. V diplomové práci jsou určeny nové postupy a přídavné materiály, které by prodloužily životnost svarů nových, ale také svarů opravovaných při odstávce zařízení.

Abstract:

The Diploma Thesis focuses on solving of problems with corrosion resistance of Urea Production Unit components, which are extremely highly affected by corrosion effects due to media character that is used for urea production. The Diploma Thesis includes new procedures and additional materials that would prolong the lifecycle of new welds as well as of those repaired during the equipment shutdowns.

Místopřísežné prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Litvínově, 5. ledna 2011

Václav Kaška
Spojeneckých letců 902
435 01 Lom

Poděkování:

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Ing. H. Neumannovi za odbornou pomoc a užitečné rady při zpracování diplomové práce, dále také celému kolektivu zkušebních laboratoří Unipetrolu RPA Litvínov za vstřícnost a podporu.

Seznam použitých zkratek a symbolů

U_0	napětí na prázdno	[V]
I_k	zkratový proud	[A]
I	proud	[A]
λ	vlnová délka	[m]
WIG	wolfram inert gas	
HAZ	tepelně ovlivněná oblast	
RT	rentgen	
WPS	welding procedure specification	
WPQR	welding procedure qualification record	

Obsah

1	ÚVOD.....	10
2	POPIS ZAŘÍZENÍ NA VÝROBU MOČOVINY	12
2.1	Jednotlivé části výrobního zařízení	12
2.2	Technologie výroby močoviny	12
2.3	Materiály použité na výrobním zařízení.....	15
2.3.1	Reaktor	16
2.3.2	Striper	17
2.3.3	Kondenzátor.....	17
3	SVAŘOVÁNÍ.....	19
3.1	Technická specifikace používaných základních materiálů.....	19
3.2	Nejvhodnější metody svařování	21
3.2.1	Ruční svařování neodtavující se elektrodou WIG	21
3.2.2	Ruční svařování obalenou elektrodou.....	25
3.3	Volba přídavného materiálu	26
3.4	Metalurgie svařovacího procesu.....	30
4	DETAILNÍ ŘEŠENÍ PROBLEMATIKY SVAŘOVÁNÍ.....	34
4.1	Návrh postupu svařování.....	34
4.1.1	Stanovení očekávané struktury svarového kovu pro jednotlivé druhy přídavných materiálů dle Schaefflerova diagramu, nebo De Longova diagramu	35
4.2	Předpisy pro svařování a zkoušky svářečů	37
4.3	Provedení zkušebních svarů	41
5	ZKOUŠENÍ SVAROVÝCH SPOJŮ.....	45
5.1	Nedestruktivní zkoušky svarových spojů.....	45

5.1.1	Vizuální kontrola	46
5.1.2	Zkouška radiologická.....	47
5.1.3	Zkouška ultrazvukem.....	52
5.1.4	Volba zkoušky radiologické nebo ultrazvukové	54
5.1.5	Kapilární metoda	55
5.2	Destruktivní zkoušky svarových spojů	57
5.2.1	Zkouška tahem.....	57
5.2.2	Zkouška lámavosti	59
5.2.3	Zkouška makrostruktury	60
5.2.4	Zkoušky mikrostruktury	61
5.3	Zkoušky korozní odolnosti.....	62
5.3.1	HUEY-TEST	63
6	VYHODNOCENÍ ZKOUŠEK SVAROVÝCH SPOJŮ.....	64
6.1	Výsledky nedestruktivních zkoušek.....	64
6.1.1	Vizuální kontrola	64
6.1.2	Zkouška prozařováním	64
6.1.3	Zkouška kapilární metodou	65
6.2	Výsledky destruktivních zkoušek.....	65
6.2.1	Zkouška tahem.....	65
6.2.2	Zkouška lámavosti	66
6.2.3	Zkouška makrostruktury	67
6.2.4	Zkouška mikrostruktury.....	67
6.2.5	Měření obsahu delta-feritu.....	72
6.3	Zkouška korozní odolnosti HUEY-TEST	72
6.3.1	Metalograficky stanovená hloubka selektivního napadení	74
7	DISKUZE VÝSLEDKŮ	77
8	ZÁVĚR	80
9	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	82
10	SEZNAM PŘÍLOH.....	84



10.1	Příloha P1 – pWPS.....	85
10.2	Příloha P2 – Protokol vizuální kontroly	90
10.3	Příloha P3 – Protokol kapilární kontroly.....	91
10.4	Příloha P4 – Protokoly rentgenových zkoušek.....	92
10.5	Příloha P5 – Mikro a makro snímky	97

1 Úvod

Močovina je jedním ze základních agrochemických produktů vyráběných společností Unipetrol RPA s.r.o. Granulovaná močovina je diamid kyseliny uhličitě, vyrábí se syntézou čpavku a oxidu uhličitěho.

Močovina se vyrábí ve třech druzích a používá se k následujícím účelům:

- močovina druh H - na hnojení, používá se jako dusíkaté hnojivo,
- močovina druh K - krmná, používá se pro přípravu krmných směsí,
- močovina technická - používá se v chemickém a textilním průmyslu.

Výroba močoviny má dlouholetou tradici a od prvopočátku se její výrobci potýkali s extrémní korozí výrobního zařízení. Již v roce 1915 navrhl Carl Bosch patentovat proces, při kterém se připravuje z oxidu uhličitěho a čpavku karbaminan amonný, který se pak rozloží v autoklávu na močovinu. Při pokusech musel být autokláv opatřen vrstvou olova nebo stříbra.

V následujícím roce 1916 podala bádenská továrna na anilín a sodu (BASF) patentovou přihlášku na proces pro výrobu močoviny, při kterém je koroze snížena odstraněním kyslíku a přidáním přebytku čpavku. V této patentové přihlášce byly uvedeny pro výrobní zařízení následující materiály: všechny druhy železa tj. kujné železo a litina, neušlechtilá ocel, všechny ušlechtilé a speciální oceli a slitiny železa, jakož i olovo a zinek a jejich slitiny. Již tehdy byly tedy činěny pokusy snížit korodující účinek médií volbou vhodných materiálů na nejmenší možnou míru.

Poznatky týkající se koroze a boje proti ní představovaly vždy podstatnou část technické výroby močoviny a je možné s určitostí tvrdit, že korozní problematika základních materiálů a svarových spojů byla základním faktorem, který určoval rozvoj výroby a rychlost přírůstku výrobní kapacity močoviny. Znalosti korozních jevů přispěly do značné míry k vývoji nových cest při výrobě močoviny a jejích produktů. Historický význam má patent z roku 1930 podaný společností E.T.Du Pont de Nemours, ve kterém bylo uvedeno, že velmi malý přídavek mědi působí jako inhibitor koroze při použití chromových nebo chromniklových ocelí. V roce 1936 navrhla tatáž firma patentovou ochranu pro proces, podle kterého je koroze potlačena přídavkem kovů vyskytujících se ve více mocenstvích, jako je měď, vizmut, chrom apod. Z těchto údajů je již možné vytušit, že je možné chránit chromniklové oceli v médiích vyskytujících se při výrobě močoviny pomocí oxidačně-redukčního mechanismu.

V praxi se Cr-Ni oceli zpočátku příliš neosvědčily, neboť jejich odolnost proti extrémní korozi způsobenou médií při výrobě močoviny byla příliš nízká. Teprve zjištění, že přídavek kyslíku může významně zvýšit jejich korozní odolnost, umožnilo použití těchto materiálů ve větším měřítku.

Výrobní močoviny byla ve společnosti Unipetrol RPA postavena před více než 35 lety a výroba močoviny byla zahájena v červnu 1972. Toto velkokapacitní chemicko-technologické zařízení bylo realizováno z austenitických, vysoce legovaných ocelí s nízkým obsahem uhlíku - ocelí typu Cr18Ni12Mo2,5 tzv. močovinové jakosti, které zaručují strukturní stabilitu a mají dobrou korozní odolnost vůči provozovaným médiím v podmínkách pasivního stavu. Od počátku byly základní materiály i svarové spoje podrobovány mnoha materiálovým kontrolám, aby byla tímto způsobem zajištěna bezpečnost a spolehlivost výrobního zařízení při zachování popř. zvýšení jeho životnosti. Na základě provozních zkušeností a materiálových kontrol byly některé části zařízení později nahrazeny ocelí speciálně vyvinutou pro prostředí močoviny typu 02Cr25Ni22Mo2N s ještě vyšší korozní odolností vůči karbaminanu amonnému. U této oceli však bylo nutno dorešit otázky tepelného zpracování s ohledem na dosažení vysokých plastických vlastností a dále určit vliv zcitlivění na korozní odolnost, ke kterému může docházet po krátkodobém ohřevu, např. při svařování. Podrobnější charakteristika jednotlivých materiálů použitých na zařízení pro výrobu močoviny je uvedena v kapitole 2.3.

Z výše uvedeného je zřejmé, že vedle korozní odolnosti základních materiálů je problematika svařování korozivzdorných ocelí tzv. močovinové jakosti jedním ze základních faktorů podmiňujících bezpečnost a spolehlivost výrobního zařízení močoviny.

Zadání této diplomové práce vzniklo z podmětu firmy Unipetrol RPA a.s. a jejím cílem bylo navrhnout nový postup při svařování komponentů výrobní močoviny, při použití stávajících a nových základních materiálů, a nových přídavných materiálů, tím prodloužit životnost součástí výrobní. Zkoušení zkušebních svarů bylo provedeno v akreditované zkušebně v areálu Chemopetrolu a.s.

2 Popis zařízení na výrobu močoviny

2.1 Jednotlivé části výrobního zařízení

Chemicko-technologické zařízení pro výrobu močoviny sestává ze stripovací jednotky s úplným recyklátem a z krystalizační jednotky. Pro popis procesu lze stavbu rozdělit na 6 sekcí:

- komprese čpavku a CO₂,
- vlastní syntéza,
- skladování močoviny a krystalizace,
- granulace a doprava,
- absorpce a desorpce.

Nejdůležitější součásti chemicko-technologického zařízení komprese surovin a vlastní syntézy obou sekcí výroby močoviny jsou následující:

- reaktor R101,
- striper E103,
- vysokotlaký kondenzátor E104,
- vysokotlaká pračka inertů E 105 + deskový chladič pračky inertů E 106,
- čerpadla čpavku P103A,B a P104A,B,
- kompresor čpavku P102,
- vzduchové dmyhadlo P101,
- odlučovač vody S101,
- jímač páry V101.

Propojení jednotlivých zařízení je uvedeno na schéma viz obr. 2.1.

2.2 Technologie výroby močoviny

Průmyslová výroba močoviny je založena na soustavě dvou reakcí. První reakcí je syntéza amoniaku s oxidem uhličitým probíhající za vysokého tlaku za vzniku karbaminanu amonného, který se ve druhém stupni rozkládá na močovinu a vodu.

První reakce je silně exotermní, velmi rychlá a při přebytku amoniaku za podmínek průmyslového procesu probíhá prakticky úplně, tj. dochází k úplné spotřebě oxidu uhličitého. Druhá reakce je endotermní, pomalejší a neprobíhá úplně – spěje k rovnováze

mezi močovinou a karbaminanem amonným. Karbaminan amonný, který se při syntéze nepřeměnil na močovinu, se odstraňuje z reakčního prostředí rozložením na NH_3 a CO_2 . Tyto plyny se pak absorbují ve vodě a vodný roztok se vrací do reaktoru.

Výtěžky močoviny jsou snižovány vedlejšími reakcemi. Je to především hydrolyza karbaminanu amonného:



a přeměna močoviny na biuret. Jsou-li amoniak a oxid uhličitý přítomny v molekulárním poměru $\text{NH}_3/\text{CO}_2 = 2$, pak je výtěžek močoviny přibližně 46%. Vyšší poměr dává vyšší výtěžky. Podstatný vliv na výtěžek močoviny má rovněž teplota a tlak a kromě nich již zmiňovaný nadbytek amoniaku a přítomnost vody ve výchozí směsi. Přebytný amoniak váže reakční vodu, a tím posunuje rovnováhu k vyšším výtěžkům. Kromě toho se jeho přebytkem brzdí hydrolyza karbaminanu amonného (v dalším textu uváděn jako karbaminan) i další nežádoucí reakce.

Způsob výroby močoviny v Unipetrol RPA je podle systému Stamicarbon, což je stripovací proces s totálním recyklátem. Proces vychází ze základních surovin, kterými jsou NH_3 a CO_2 . V syntéze není veškerý amoniak a oxid uhličitý zkonvertován, část amoniaku i oxidu uhličitého je vracena do syntézy ve formě karbaminanového roztoku.

Kapalný čpavek je dodáván do výroby močoviny ze skladu čpavku, odkud je čerpán podávacím čerpadlem (P103) přes čpavkový filtr (S103) k čpavkovému čerpadlu (P104). Čpavek je stlačený na 14 MPa a z jeho celkového objemu je 20% vedeno přímo do reaktoru a zbytek, tj. 80% do vysokotlakého kondenzátoru (E104).

Oxid uhličitý je dodáván jako plyn. Antikorozivní přídatek vzduchu je smíšen s plynným CO_2 , až je dosažena hodnota 0,5 až 0,7% objemu kyslíku. Plynný CO_2 je veden přes chladič, odsíření a odlučovač vody do kompresu, kde je stlačen přibližně na 14 MPa a zaveden do spodní části striperu (E103).

Vlastní syntéza probíhá v reaktoru (R101) a v jejím průběhu dochází ke vzniku karbaminanu a jeho částečné přeměně na močovinu. Tato reakční směs, obsahující močovinu, karbaminan, vodu a přebytečný amoniak, odchází z vrchu reaktoru do striperu, kde se karbaminan rozkládá tak, aby se získal čistý roztok močoviny. Plynný CO_2 , který prochází v protiproudu, způsobí pokles parciálního tlaku čpavku, jehož výsledkem je počátek rozkladu karbaminanu a spotřeba tepla, které dodává pára vedená kolem trubek striperu. Ta je potom vedena do vysokotlakého sytiče páry. Přehřátá pára je sycena pomocí kondenzátu, vracejícího se do vysokotlakého sytiče ze striperu. Vypuzení karbaminanu se provádí ve dvou stupních – izotermickém a adiabatickém. Nad hladinou kondenzátu je konstantní tlak

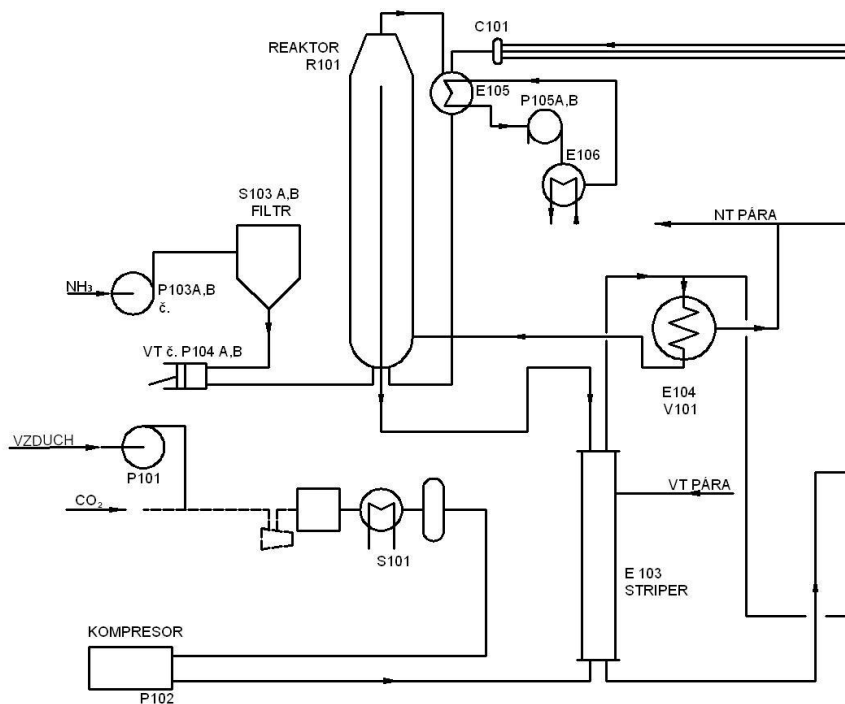
páry a z toho důvodu též konstantní vypuzovací teplota. Jako výsledek poměrně chladného CO_2 a slabě adiabatického vypuzování poklesne teplota sestupujícího kapalného filmu na hodnotu kolem $165\text{ }^\circ\text{C}$ a kondenzát je vypouštěn přes vysokotlaký sytič do středotlakého sytiče páry. Plyny odcházející z horní části striperu jsou vedeny čpavkovým čerpadlem do vysokotlakého kondenzátoru spolu s kapalným čpavkem. Vysokotlaký kondenzátor je vybaven vertikálními trubkami, kterými protéká karbaminan, kolem trubek kondenzát a pára. Ve vysokotlakém kondenzátoru se opět vytváří karbaminan. Dodávka čpavku do vysokotlakého kondenzátoru je regulována tak, aby se dosáhla maximální kondenzační teplota. Teplo vyvinuté při kondenzaci je používáno pro výrobu páry, která se vrací do jímače páry (V101) a strhává kondenzát, který je z ní separován. Tlak v jímači páry je nastaven tak, že část CO_2 nekondenzuje. Tento CO_2 reaguje se čpavkem v reaktoru na karbaminan a přitom dodává teplo pro reakci na močovinu a pro ohřev přímo dodávaného čpavku. Heterogenní směs karbaminanu a nezkondenzovaného čpavku a CO_2 je vedena do spodní části reaktoru.

Jak již bylo uvedeno výše, reakce probíhá s přímou dodávkou čpavku. Endotermická reakce rozkladu karbaminanu na močovinu vyžaduje přivedení tepla a potřebuje rovněž určitou časovou prodlevu. To je hlavním úkolem reaktoru. Pro zlepšení styku mezi plynnou a kapalnou fází a dále proto, aby nedocházelo k zpětnému míšení, je v reaktoru instalováno deset síťových pater. Na konci rovnovážné reakce je převedeno přibližně 60% karbaminanu na močovinu. Reakční směs pak odchází přepadovou trubicí do striperu, inertní plyny, nezkonvertovaný čpavek a CO_2 opouští reaktor do vysokotlaké pračky inertních plynů. Polovina množství čpavku a CO_2 zde kondenzuje. Zkondenzovaný karbaminan se vrací zpět na spodek reaktoru, kde je konvertován na močovinu.

Roztok močovina – karbaminan vychází ze spodní části striperu, je expandován, následkem čehož se část karbaminanu zbytkově rozkládá a tato směs je nastříknuta do rektifikační kolony, kde rozklad karbaminanu pokračuje. Dále roztok stéká do uvolňovací nádrže a pak pokračuje do kondenzátoru, kam se přidává pro optimální průběh kondenzace čerstvý čpavek. Kondenzátor je chlazen upravovanou chladicí vodou a je opatřen regulačním ventilem, který udržuje tlak v regulační sekci na hodnotě $0,2\text{ MPa}$.

Roztok močoviny odcházející z odlučovací části rektifikační kolony obsahuje ještě 0,8 až 1% čpavku. Expanzí se voda a čpavek odpaří v uvolňovací nádrži. Roztok močoviny má nyní koncentraci kolem 75% a stéká do zásobníku. Dále se roztok míchá v tanku, odkud je čerpán přes odpařovací jednotku, kde je zkoncentrován při tlaku cca $0,04\text{ MPa}$. A poté je míchán v tanku s čerstvým roztokem močoviny. Tato směs je čerpána do krystalizátoru, kde dojde k odpaření rozpouštědla a ke vzniku suspenze krystalů, která je vedena do sušiče. Krystaly jsou pak promývány čerstvou močovinou a opět sušeny. Tento produkt je pak

veden do tavicí nádrže, ze které odtéká do rozstřikovacího koše granulátoru (granulační věže), kde jsou jemné kapičky močoviny rozstřikovány a během svého pádu ztuhnou, krystalizační teplo je přitom odváděno vzduchem. Granule močoviny se shromažďují na dně věže, odkud jsou vyhrabávány na pás, který je dopraví ke skladování.



Obr. 2.1: Schéma výroby močoviny

2.3 Materiály použité na výrobním zařízení

Jak vyplývá z předchozího textu, materiály použité na zařízení výroby močoviny musí splňovat nejvyšší nároky kladené na jejich korozní odolnost. Jedná se o austenitické oceli tzv. močovinné jakosti splňující nároky na strukturní stabilitu a vyhovující korozní odolnost. Pro dosažení požadovaných vlastností musí mít tyto oceli rovněž nízké obsahy doprovodných škodlivých prvků, nízký obsah plynů a zejména vysokou mikročistotu. Obsah nekovových vměstků musí být minimální a jejich složení a rozložení ve struktuře takové, aby co nejméně ovlivňovaly jakost oceli. Ve struktuře se nesmí vyskytovat ferit, který by mohl snižovat korozní odolnost nebo by se mohl přeměnit na σ fázi a tím rovněž snížit korozní odolnost.

Obsah uhlíku musí být nízký, neboť vyloučené karbidy mohou být příčinou selektivního, respektive mezikrystalického, napadení povrchu. U ocelí s nízkým obsahem uhlíku se však výrazně zvyšuje obsah kyslíku a ve struktuře roste podíl oxidických vměstků.

Z nich zejména Cr_2O_3 snižuje tvářitelnost ocelí a totéž platí o mangan-chromitových vměstcích. Tyto nekovové vměstky a spolu s nimi i stopové prvky, síra, fosfor a mikronehomogenita výrazně ovlivňují vlastnosti ocelí, a to nejen korozní odolnost a tvářitelnost, ale i mechanické vlastnosti a svařitelnost ocelí.

Materiály použité na výrobně močoviny:

- ocel 1.4466 - ocel X1 CrNiMoN 25-22-2 dle EN 10088 – 2:2005
- ocel 1.4429 - ocel X2 CrNiMoN 17-13-3 dle EN 10088 – 2:2005
- ocel 1.4435 - ocel X2 CrNiMo 18-14-3 dle EN 10088 – 2:2005

Ocel X 1 CrNiMoN 25-22-2 představuje zatím nejvyšší vývojový typ oceli močovinné jakosti, která na základě vyššího obsahu chromu dosahuje přibližně 3x menší průměrné rychlosti koroze než ocel X 2 CrNiMo 18-14-3. Pro prostředí močoviny je použití oceli X 1 CrNiMoN 25-22-2 z hlediska koroze velmi výhodné, neboť ve srovnání s předchozími typy ocelí je pro její pasivaci zapotřebí méně kyslíku a její rychlost aktivace je i při nedostatku kyslíku nižší. Rovněž pevnostní hodnoty při 20°C i za vyšších teplot jsou s ohledem na přísadu dusíku vysoké a jsou přibližně o 50% vyšší než u předchozích typů ocelí. Vyšší pevnostní hodnoty umožňují také snižovat tloušťku stěn tlakových zařízení pro výrobu močoviny.

Ocel typu X 1 CrNiMoN 25-22-2 je dobře svařitelná a ke svařování je doporučována elektroda o složení 0,03%C, 25%Cr, 22%Ni, 2%Mo a 0,12%N. U všech používaných elektrod pro svařování zařízení pro močovinu je obsah manganu přibližně 5%.

V dalším textu bude zaměřena pozornost na materiálové provedení vysokotlaké části syntézy močoviny, která je tvořena tlakovými nádobami: reaktorem, striperem a kondenzátorem.

2.3.1 Reaktor

Původní reaktor byl výrobkem firmy Babcock Atlantique. Jedná se o stojatou válcovou nádobu Ø 2 m a délky 25 m, uzavřenou hluboce klenutými dny. Pracovní přetlak je 16,5 MPa, max. pracovní teplota 200 °C. Reaktor byl vyroben z feriticko-perlitické oceli plátované austenitickou ocelí X 2 CrNiMo 18-14-3 (AISI 316L). Tato nádoba byla vyrobena jako celosvařovaná, plátovaná vrstva byla svařena elektrodou FOX TT250 firmy Böhler. Klenutá dna jsou ze strany zpracovávaného média svařována páskovou elektrodou CN 18/16-M-BS (Böhler).

V současné době je reaktor výrobkem Královopolská, a.s. Brno a byl vyroben v roce 1997. Plášť reaktoru je z feriticko-austenitické oceli plátované austenitickou ocelí X 1 CrNiMoN 25-22-2. Rozměry a pracovní parametry jsou shodné s původním reaktorem. Klenutá dna jsou svařována páskovou elektrodou Thermanit 25/22 H, ruční návary jsou provedeny obalenými elektrodami Thermanit 19/15 H (výrobce Thyssen Schweissttechnik GmbH).

2.3.2 Striper

Původní striper byl vyroben firmou Böhler jako tlaková nádoba Ø 1,6 m, délky 8 m uzavřená plochými víky pro pracovní přetlak v plášti 4 MPa a max. pracovní teplotu 250 °C. Trubkový systém, který je vystaven přetlaku 20 MPa a teplotě 200 °C, byl tvořen trubkami jakosti EAS4Mu (Böhler). Všechny součásti vystavené koroznímu prostředí byly vyrobeny z oceli AISI 316L, tj. X 2 CrNiMo 18-14-3. Horní, spodní komora a obě víka byly navařeny páskovou elektrodou Böhler CN 18/16-M-BS, pro ostatní svary byly použity obalené elektrody Böhler FOX EAS4Mu.

Nově zabudovaný striper je výrobkem firmy ZVU, a.s. Hradec Králové, byl vyroben v roce 1995 a má shodné rozměry a provozní parametry jako striper původní. Trubky jsou vyrobeny z oceli X 1 CrNiMoN 25-22-2 od švédského výrobce Sandvik, návary automaticky jsou provedeny páskou Thermanit 21/17E a ruční návary obalenými elektrodami Thermanit 19/15 H.

2.3.3 Kondenzátor

Původní kondenzátor byl rovněž výrobek firmy Böhler. Jedná se o nádobu Ø 1,6 m, délky 14m. Trubkový systém, vystavený přetlaku 20 MPa a teplotě 190°C, byl tvořený trubkami z oceli X 2 CrNiMo 18-14-3. Horní a spodní komora i plochá víka byly navařeny páskovými elektrodami CN 18/16-M-BS a obalenými elektrodami FOX EAS4Mu (Böhler).

Nově zabudovaný kondenzátor vyrobila firma ZVU, a.s. Hradec Králové v roce 1997 a má shodné rozměry a provozní parametry jako původní kondenzátor. Trubky jsou vyrobeny z oceli X 1 CrNiMoN 25-22-2 od švédského výrobce Sandvik, návary komor a vík jsou provedeny páskou Thermanit 21/17 E a ruční návary obalenými elektrodami Thermanit 19/15H.

Kromě uvedených tlakových nádob zařízení na syntézu močoviny je rovněž velmi důležité vysokotlaké potrubí propojující jednotlivé aparáty, neboť korozní účinek

karbaminanu amonného jako meziproduktu při výrobě močoviny je výrazný. Z tohoto důvodu již bylo potrubí dvakrát vyměňováno, když poprvé došlo k jeho narušení vlivem koroze viz obr. 2.2 a tím i k výronu media do stavby. Druhá výměna již proběhla plánovaně na základě každoročních defektoskopických kontrol stavu potrubí pomocí prozáření. Kontrola se provádí prozářením γ – paprsky iridia 192 a zachycením průměru potrubí na radiogramy. V místech, kde v potrubí došlo k depasivaci vnitřního povrchu, vznikají podpovrchové korozní dutiny a je nutné takto korozi zasaženou část potrubí při odstávce zařízení vyměnit. Proto je třeba defektoskopické kontroly stavu vnitřního povrchu potrubí každoročně opakovat.



Obr. 2.2: Vlivem koroze narušené vysokotlaké potrubí

Korozivzdorné austenitické oceli používané v syntézním zařízení musí být před uvedením zařízení do provozu vždy v pasivním stavu. Toho se dosáhne pasivací, která spočívá v profukování zařízení horkým, vlhkým CO_2 s obsahem kyslíku 1% obj. Zařízení musí být při pasivaci vyhřáto alespoň na 100 °C za tlaku 8 MPa. Pasivace se provádí po dobu 12 hodin.

Koroze zařízení se vyhodnocuje podle obsahu niklu v konečném produktu výroby, tj. v granulované močovině. Analýza obsahu Ni se provádí 1x za směnu, tj. za 8 hodin a limitní hodnota je 0,2 ppm Ni ve vzorku.

3 Svařování

Stejně jako probíhá vývoj základních materiálů pro močovinu, dochází i ve svařování ocelí močovinné jakosti k neustálému zdokonalování technologie svařování i ke zlepšování vlastností přídavných materiálů. Kvalita svarových spojů je důležitým činitelem ovlivňujícím životnost a provozní spolehlivost výrobního zařízení. S tím souvisí i výběr kvalifikovaných a spolehlivých svářečů spojený s důkladnou kontrolou celého procesu svařování.

Pro spolehlivé provozování vysokotlaké části syntézy močoviny je nutné při opravách zařízení dodržování komplexního systému kontroly, počínaje ověřením základních a přídavných materiálů (přejímací zkoušky plechů, trubek, tyčí, výkovek i elektrod u výrobců), výběrem spolehlivé firmy provádějící svarové spoje, provádění materiálových zkoušek a nedestruktivních kontrol a sledování opravených míst během odstávek zařízení z provozu.

Nedílnou součástí kontrol svarových spojů je kontrola jejich chemického složení a měření obsahu feritu v korozivzdorných austenitických návarech a svarových spojích a dále sledování korozní odolnosti těchto svarů dlouhodobě, jak při odstávkách zařízení, tak i laboratorně na zkušebních vzorcích. Nepříznivý vliv feritu na korozní odolnost austenitických ocelí v prostředí močoviny včetně zjištěných případů značné selektivní koroze a dále i nebezpečí transformace feritu za vyšších teplot na sigma fázi a karbidy vede k požadavkům na kontrolu obsahu feritu v každém svaru či návaru prováděném ve vysokotlaké části syntézy močoviny.

3.1 Technická specifikace používaných základních materiálů

Při výstavbě výrobní jednotky močoviny bylo použito tvářených ocelí jakostí X 2 CrNiMo 18-10 (1.4404), X 2 CrNiMoN 18-13 (1.4406), X 2 CrNiMoN 18-14 (1.4429), X 2 CrNiMo 18-12 (1.4435) a ocel X 1 CrNiMoN 25-22-2 (1.4466). Dodávky těchto tvářených ocelí se prováděly podle zvláštních technických přejímacích podmínek, vzniklých na základě speciálních požadavků na kvalitu a vlastnosti těchto ocelí zjištěných po dlouhodobých zkušenostech s používáním těchto ocelí ve výrobní jednotce močoviny.

Nepříznivý vliv feritu na korozní odolnost austenitických ocelí v prostředí močoviny, tak jak je uváděn v literatuře a jak bylo zjištěno při kontrolách návarů ve výrobním zařízení (včetně zjištěných případů značné selektivní koroze jak u součástí z tvářených ocelí, tak i u návarů s velkým obsahem feritu), a dále i nebezpečí transformace

feritu za vyšších teplot na sigma fázi a karbidy vede k přísným požadavkům na kontrolu obsahu feritu v každém svaru či návaru prováděném ve vysokotlaké části syntézy močoviny.

Provozní zkušenosti se zařízením výroby močoviny ukazují, že korozní účinky některých meziproduktů při syntéze močoviny, především karbaminanu amonného, jsou značné. V průběhu několikaletého provozu tohoto zařízení došlo v několika případech ke značnému koroznímu napadení návarů v jednotlivých nádobách syntézní části, především v kondenzátoru a striperu. V jednom případě došlo ke korozi v celé tloušťce korozivzdorné vrstvy návaru i pláště nádoby z feriticko-perlitické oceli a k výronu media za zařízení.

Při prošetřování tohoto případu bylo zjištěno, že chemické složení návaru neodpovídalo předpisu v důsledku obrobení krycí vrstvy korozivzdorného návaru. Během dalšího provozu bylo při pravidelných vizuálních kontrolách návarů zjišťováno výrazné napadení návarů a tupých svarů plechu z korozivzdorné oceli tvořících výstelku reaktoru v místech koncových kráterů jednotlivých housenek a v místech styku návarů provedených páskou šířky 60 mm.

S ohledem na výše uvedená zjištění značných korozí a na publikované údaje dalších provozovatelů syntézních jednotek močoviny se jeví provádění korozní zkoušky tzv. Huey-testu viz kapitola 6.3 podle ČSN EN ISO 3651-1[1] (příp. podle interní normy N 11 767 [2] společnosti Unipetrol RPA) jako nezbytně nutné.

Hodnoty korozních rychlostí zjištěné Huey-testem jsou výrobci tvářených ocelí i přídavných materiálů uváděny v různých jednotkách, a proto uvádíme přehled vyjádření nejvyšší povolené korozní rychlosti pro materiály určené pro syntézní část močoviny v různých používaných jednotkách, viz tab. 3.1.

Tab. 3.1: Nejvyšší povolené korozní rychlosti v rozličných jednotkách

0,546 g/m ² ·hod	2,59 mg / cm ²	3,28 μ / 48 hod	0,002 palců / měsíc
0,005 mm / měsíc	0,00013 palců / 48 hod	130 mg / dm ² ·24 hod	0,06 mm / rok

V průběhu výstavby močoviny byly dodavatelem zařízení používány pro ruční svařování elektrickým obloukem obalené elektrody Böhler EAS 4 Mu a FOX TT 250. Tyto elektrody byly rovněž užívány při garančních opravách v průběhu zkušebního provozu. V následující době byly pro opravy návarů používány elektrody firmy DEW značky Thermanit 19/15 H.

3.2 Nejvhodnější metody svařování

Pro současnou praxi svařování karbamátového potrubí o průměru 101,6 x 8,0 mm jakosti 1.4429, jak při prefabrikaci, tak pro vlastní realizaci svařování na montáži, je nejvhodnější metodou svařování metoda 141 - ruční svařování neodtavující se elektrodou v inertní ochraně plynu, jinak označována také jako WIG. Pro větší tloušťky stěn trubek je možná i kombinace metod 141 a 111 - ruční svařování obalenou elektrodou, kde minimálně dvě vrstvy jsou provedeny metodou 141. Zabránění přístupu okolního vzduchu do oblasti svařování pro metodu 141 se zajišťuje vytvořením ochranné inertní clony z vnější i vnitřní strany svaru. Ochrana musí být provedena pečlivě, neboť na jejím provedení je velice závislá budoucí korozní odolnost celého svaru. Pro primární i sekundární ochranu se používá výhradně argon s nejvyšší čistotou.

3.2.1 Ruční svařování neodtavující se elektrodou WIG

Metoda svařování WIG, viz obr. 3.1, je jednou z nejpoužívanějších, především pro spojování vysokolegovaných ocelí a velké skupiny neželezných kovů. Své zastoupení nalezne jak v kusové, tak malosériové výrobě, ale také při svařování prostorných konstrukcí. Jeho velkou výhodou jsou svary s velmi dobrými vlastnostmi, výborným povrchem a vysokou čistotou, což jsou přesně předpoklady, pro použití v chemickém průmyslu, kde jsou kladeny vysoké nároky na kvalitu. Touto metodou může svařovat jak stejnosměrným, tak střídavým proudem. Pro naše potřeby svařování na výrobně močoviny se však zaměříme pouze na proud stejnosměrný.



Obr. 3.1: Metoda svařování WIG

Stejnoseměrný proud

Jedná se o základní zapojení při svařování metodou WIG. V tomto případě, je elektroda zapojená na záporný pól zdroje a svařovaný materiál na kladný, jedná se o tzv. přímé zapojení. Dochází při něm k nerovnoměrnému rozdělení tepla oblouku, kdy 1/3 tepla připadá na elektrodu a 2/3 celkového tepla se přenáší do základního materiálu. Výhoda tohoto zapojení spočívá v menším tepelném zatížení elektrody a velkém závaru svarové lázně. Svařování stejnosměrným proudem s přímou polaritou se používá pro sváření všech typů ocelí, mědí, niklů, titanu a jejich slitin.

Nepřímá polarita zapojení není z důvodu vysokého tepelného zatížení elektrody využívána a dá se výjimečně použít pro svařování tenkostěnných svarků.

Základní sestava pro svařování stejnosměrným proudem metodou WIG se skládá ze:

- zdroje stejnosměrného proudu, jímž je buď usměrňovač se síťovým transformátorem, nebo inverter se strmou statickou charakteristikou. Napětí na prázdko obvykle nepřesahuje 75V,
- řídicí jednotka, která obsahuje ovládací prvky, jež slouží k ovládání svařovacího procesu. Řídí nám proces svařování, náběh na začátku a sestup proudu na konci procesu, dále také nastavení úrovní proudů při svařování složitých svarků s různou tloušťkou materiálu,
- programátoru, který v přímé návaznosti na řídicí jednotku zabezpečuje nastavení předfuku a dofuku plynu, zapínání a regulaci okruhu chladicí vody, aktivuje činnost ionizátoru,
- svařovacího hořáku,
- chladicí jednotky zabezpečující cirkulaci chladicí vody v celém systému,

- zásobníku ochranného plynu, zabezpečující společně s redukčním ventilem požadovaný trvalý tlak plynu s nastaveným průtokem. Nejčastěji používáme tlakové láhve o objemech 10,40 nebo 50 l, pokud však odebíráme plyn ve větším množství, určitě se z ekonomického hlediska vyplatí nakupovat výhodné kapalně plyny v mobilních odpařovacích nádobách.

Svařovací hořák

Hořák, je nejzatíženější část svařovacího zařízení. Zajišťuje přívod elektrického proudu k elektrodě, usměrňuje a přivádí ochranný plyn, přivádí a odvádí chladicí kapalinu a zajišťuje správnou polohu wolframové elektrody.

Hořáky lze rozdělit na ty, které jsou chlazeny procházejícím plynem do cca 150 A a na chlazené vodou pro proudy do 350 A až 500 A pro ruční svařování, ale především svařování strojní. Pevné upnutí a proudové napájení wolframové elektrody nám zajišťují vyměnitelné kleštiny. Ty jsou vtlačovány do kuželového otvoru pomocí ručně šroubované matice s krytem na elektrodu. Mezi další tepelně namáhané prvky patří plynová tryska, ta nám usměrňuje proudění plynu do místa svařování.

Trysky dělíme na keramické a kovové. Keramické užíváme pro ruční hořáky chlazené procházejícím plynem. Kovové nacházejí uplatnění ve strojním svařování, kde se jako chladicí médium používá voda.

Průměr trysky volíme dle požadované plochy, kterou chceme ochránit inertním plynem. Ochranu můžeme zlepšit použitím tzv. plynové čočky, ta nám zajistí prodloužení laminárního proudění plynu a usnadní přístup k místu svařování vysunutím elektrody. Plynová síťka mohou snížit množství ochranného plynu až o 50% a umožňují vysunutí elektrody na 15 až 20mm.

Pro kontrolu správného množství plynu na ochranné plynové trysce se používají trubkové průtokoměry s kuličkou. Úkolem ochranného plynu je zajistit dokonalou ochranu proti účinkům okolní atmosféry, kdy nesmí dojít ke kontaminaci svarové lázně kyslíkem nebo dusíkem a také musí chránit wolframovou elektrodu proti oxidaci.

Ochranné plyny

Pro svařování metodou WIG používáme v zásadě dva ochranné plyny a to argon (Ar) viz obr. 3.2 nebo helium (He). Pro svařování močovinových ocelí na výrobně močoviny se používá především argon. Jedná se o jednoatomový plyn, bezbarvý, bez chuti a zápachu. Získává se destilací zkapalněného vzduchu, kde teplota varu argonu při atmosférickém tlaku

je 185,8°C. Obsah argonu ve vzduchu je 0,934%, má velmi malou tepelnou vodivost a relativně nízký ionizační potenciál 15,8 eV. To vše zaručuje snadné zapálení a vysokou stabilitu oblouku v ochranné atmosféře z argonu. Hustota argonu je 1,784 kg.m⁻³ je tedy 1,4 krát těžší než vzduch, a to přispívá k velmi dobré krycí schopnosti a vysoké efektivnosti plynové ochrany především v poloze PA. Má nízkou citlivost na proudění vzduchu. V dnešní době vyráběná a běžně nabízená čistota plynu je označována číslem 4,5 tj. 99,995%. Materiály s vysokou afinitou ke kyslíku však vyžadují ochranu plynem o čistotě 4,8 – 99,998% nebo 5,0 – 99,999%.

Argon lze jako ochranný plyn použít pro všechny svařitelné materiály a jeho použití je rozsáhlé i vzhledem k nižší ceně, než má například helium.



Obr. 3.2: Argonová tlaková láhev připojená ke svařovací jednotce

Wolframové elektrody

Při svařování metodou WIG se používají netavící se wolframové elektrody, vyráběné ze spékaného wolframu, který má teplotu tavení 3380 °C a teplotu varu 5700 °C.

Elektrody se vyrábějí čisté bez příměsí o čistotě 99,9% W, nebo legované oxidy kovů thoria, lanthanu, ceru, zirkonu nebo yttria, které jsou v elektrodě rovnoměrně

rozptýlené. Tyto přísady nám pozitivně ovlivňují životnost elektrody, snižují teplotu ohřevu o 1000 °C, zlepšují zapalování oblouku a jeho stabilitu díky zvýšené emisi elektronů. Lze dosáhnout zvýšení emise elektronů tím, že snížíme výstupní práci při uvolnění elektronů.

Každá wolframová elektroda je označená číslem a písmenem. První písmeno W značí wolfram jako základní prvek elektrod. Druhé písmeno charakterizuje přísadu oxidů, T – oxid thoričitý, Z – oxid zirkoničitý, L – oxid lantaničitý, C – oxid ceričitý. Písmeno P charakterizuje elektrodu z čistého wolframu. Číslo při základní značce udává desetinásobek koncentrace oxidů.

Elektrody jsou na jednom konci označeny min. 3mm barevným páskem odpovídajícího barevného odstínu. Na druhém konci bez barevného označení se elektroda brousí do požadovaného tvaru. Průměr, druh a způsob broušení funkčního konce elektrody závisí především na:

- druhu svařovacího proudu,
- polaritě na elektrodě při stejnosměrném proudu,
- velikosti svařovacího proudu v závislosti na druhu základního materiálu a jeho tloušťce,
- typu, hloubce a tvaru úkosu.

Pro stejnosměrný proud se funkční konec elektrody brousí do tvaru kužele s vrcholovým úhlem v závislosti na svařovacím proudu. Do tupého konce se brousí elektroda pro svařování střídavým proudem, zároveň se při zatížení svařovacím proudem povrchově nataví do kulového tvaru.

Při vlastním broušení je nutné orientovat elektrodu tak, aby vzniklé rýhy byly v podélném směru, což zajišťuje hoření oblouku z konce elektrody.

3.2.2 Ruční svařování obalenou elektrodou

Při ručním svařování elektrickým obloukem, viz obr. 3.3, je využíván jako zdroj tepla elektrický oblouk hořící mezi elektrodou a základním materiálem. Jako elektroda se používá elektroda obalená. Svařování za použití obalené elektrody je jedna z modifikací svařování elektrickým obloukem. Tato metoda je univerzální, ale v současné době je nahrazována produktivnějšími metodami svařování. Z těchto důvodů se postupně redukuje i sortiment nabízených přídatných materiálů.



Obr. 3.3: Ruční obloukové svařování obalenou elektrodou

3.3 Volba přídatného materiálu

Pro svařování austenitických ocelí používáme přídatný materiál, který má stejné, nebo podobné chemické složení, jako základní materiál. Mikrostruktura svarových kovů austenitických ocelí se však odlišuje od struktury základního materiálu. Ocele, které jsou v základním stavu úplně austenitické, ve svaru často obsahují malé množství feritu. Mikrostruktura svarového kovu potom závisí na rychlosti krystalizace a jeho složení.

Pro zařízení výroben močoviny se používá plně austenitických ocelí a svařovacích materiálů, aby se zabránilo selektivní korozi δ -feritu v austenitické struktuře. Plně austenitický svarový má ale jak známo větší sklon k tvorbě trhlin za tepla. Tato skutečnost je ještě značně zesílena nízkým obsahem uhlíku. Aby bylo zabráněno trhlínám za horka, je zde obvykle snaha dosáhnout ve svarovém kovu obsahu δ -feritu 5-10 %, což podstatně snižuje nebezpečí náchylnosti k těmto trhlínám. Přítomnost δ -feritu o výše uvedené hodnotě je ale z korozního hlediska nežádoucí. Pro provozní podmínky zařízení močoviny může být hodnota δ -feritu maximálně 2 %. Je zde tedy požadavek, aby při plně austenitické struktuře bylo zajištěno, že nedojde k trhlínám za tepla. Ty mohou vzniknout jak v podobě trhlin při tuhnutí ve vnitřní oblasti svarové housenky, tak také jako tak zvané trhliny při opětovném ohřevu vedle svarové housenky v oblasti přechodové zóny, která je ohřátá těsně pod bod tání. Na přídatné materiály austenitických ocelí pro svařování zařízení na výrobu močoviny jsou kladeny vysoké nároky s ohledem na korozní vlastnosti a přitom je požadována vysoká bezpečnost svarového kovu proti trhlínám za tepla. Zvýšením obsahu chromu ve svarovém kovu odpovídající typu X2CrNiMoN2522 je možno dosáhnout vysoké odolnosti proti interkrystalické korozi a snížení korozní rychlosti. Přítomnost molybdenu ve svarovém kovu usnadňuje kromě jiného pasivaci.

Struktura Cr – Ni ocelí je výsledkem vlivu kombinace feritotvorných a austenitotvorných prvků na strukturu oceli. Vliv všech feritotvorných prvků, které ocel obsahuje, je vyjádřen tzv. ekvivalentem chromu Cr_E . Vliv všech austenitotvorných prvků tzv. ekvivalentu niklu Ni_E . Na základě Cr_E a Ni_E byly zkonstruovány konstituční diagramy, kterých se používá k odhadům výsledné struktury Cr – Ni austenitických ocelí. Je to především Schaefflerův diagram, viz obr. 3.4 a De Longův diagram, viz obr. 3.5.

- Ekvivalenty Cr a Ni podle Schafflera:

$$Cr_E = \%Cr + \%Mo + \%Si + 0,5\%Nb$$

$$Ni_E = \%Ni + 0,5\%Mn + 30\%C$$

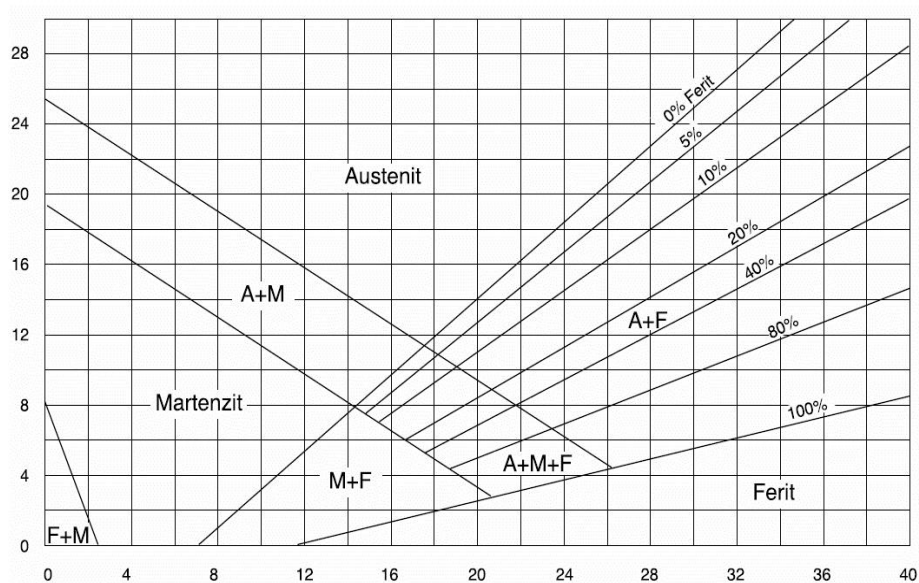
- Ekvivalenty Cr a Ni podle De Longa:

$$Cr_E = \%Cr + \%Mo + 1,5\%Si + 0,5\%Nb$$

$$Ni_E = \%Ni + 0,5\%Mn + 30\%C + 30\%N$$

Schaefflerův diagram je možné použít k odhadům výsledné mikrostruktury Cr – Ni austenitických ocelí s nízkým obsahem dusíku. Ze Schaefflerova diagramu vychází i Siefertův vzorec pro výpočet obsahu δ -feritu v Cr – Ni austenitické oceli:

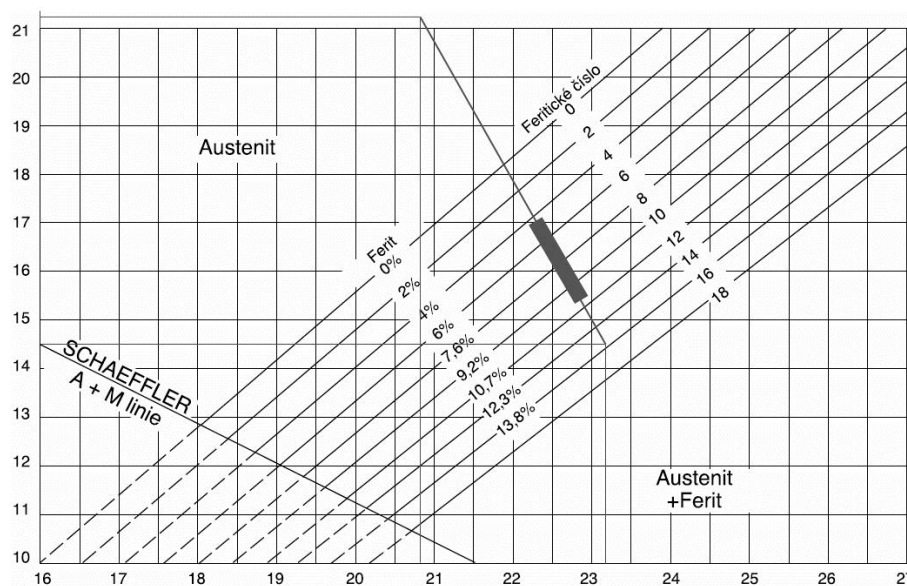
$$\% \delta \text{ feritu} = 3 (Cr_E - 0,93 \cdot Ni_E - 6,7)$$



Obr. 3.4: Schaefflerův diagram [3]

DeLongův diagram upřesňuje Schaefflerův diagram. Do Ni_E zařadil De Long i dusík jako významný austenitotvorný prvek s koeficientem 30. De Longův diagram je proto možné použít i pro austenitické Cr – Ni oceli s dusíkem. S dostatečnou přesností určuje mikrostrukturu Cr – Ni austenitických ocelí s obsahem feritu 0 – 15 %.

Všechny uvedené diagramy je možné použít k odhadům obsahu feritu a austenitu jak v základním materiálu, tak i ve svarových kovech. Při odhadech obsahu feritu ve svarovém kovu je nutné počítat se stupněm promísení svarového kovu nataveného z přídavného materiálu se základním svařovaným materiálem, který je závislý na použité technologii a parametrech svařování.



Obr. 3.5: DeLongův diagram [3]

Když chceme zjistit strukturu a složení svarového kovu, najdeme místa (body) dané ekvivalenty Cr, Ni jak základního, tak i přídavného materiálu ve Schaefflerově diagramu a tato místa spojíme přímkou, která nám ukáže strukturu i složení výsledného kovu v oblasti svaru. Tato přímka se nazývá směrová přímka rozředění nebo také směšovací přímka a to proto, že udává složení a strukturu celého rozředění v návarové housence viz obr. 3.5, kde je znázorněné výsledné složení zkušební vzorku NN03. Bod na přímce, který nám udává potřebné hodnoty složení svarového kovu i strukturu, najdeme tím, že si přímku rozdělíme na 10 dílů (1 díl = 10 %) a vyneseme na ní koeficient rozředění návarového kovu základním materiálem. Poměr mísení přídavného a základního materiálu může kolísat ve velkých mezích.

Při výpočtu Cr – Ni – ekvivalentu musíme počítat s tím, že při svařování jistý procentuelní podíl uhlíku vyhoří, čili počítáme jenom s 50 % ÷ 80 % obsahem uhlíku.

V závislosti na výše uvedeném, volíme přídavné materiály tak, aby se co nejvíce blížily základnímu materiálu. Použité přídavné materiály, které budou použity při svařování vzorků, jsou uvedeny v tab. 3.2 spolu s jejich složením a metodou svařování. Specifikace použití přídavných materiálů pro určené vzorky je součástí pWPS. Tyto materiály byly vybírány tak, aby se svým složením co nejvíce blížily složení svařovaného materiálu.

Tab. 3.2: Použité přídavné materiály

název	metoda	C[%]	Si[%]	Mn[%]	Cr[%]	Ni[%]	Nb[%]	N[%]	Mo[%]
UTP A 2535 Nb	141	0,4	1	1,7	25,5	35,3	1,3	-	-
Thermanit 25/22 H	141	0,025	0,2	6	25	22,5	-	0,13	2,2
OK TIGROD 318Si	141	0,04	0,8	1,7	19	12,5	0,7	-	2,8
Elektroda OK 63,85	111	0,05	0,4	1,7	18,5	12,5	0,6	-	2,8

3.4 Metalurgie svařovacího procesu

Obloukové svařování se vyznačuje určitými zvláštnostmi, jako kontinuálností procesu, vysokou intenzitou reakcí a krátkou dobu trvání reakcí. Kontinuita svařovacího procesu je v tom, že během hoření elektrického oblouku mezi základním materiálem a koncem přídavného materiálu (elektrody, drátu) dochází k neustálému přechodu svarového kovu v kapkách do svarové lázně. V každém okamžiku svařování probíhají současně všechny metalurgické děje svařovacího procesu, metalurgické reakce v soustavách tekutý kov – plynná fáze – tekutá struska. Z uvedeného vyplývá, že nedochází k homogenizaci v celém objemu taveného kovu, ale jen v mikroobjemech.

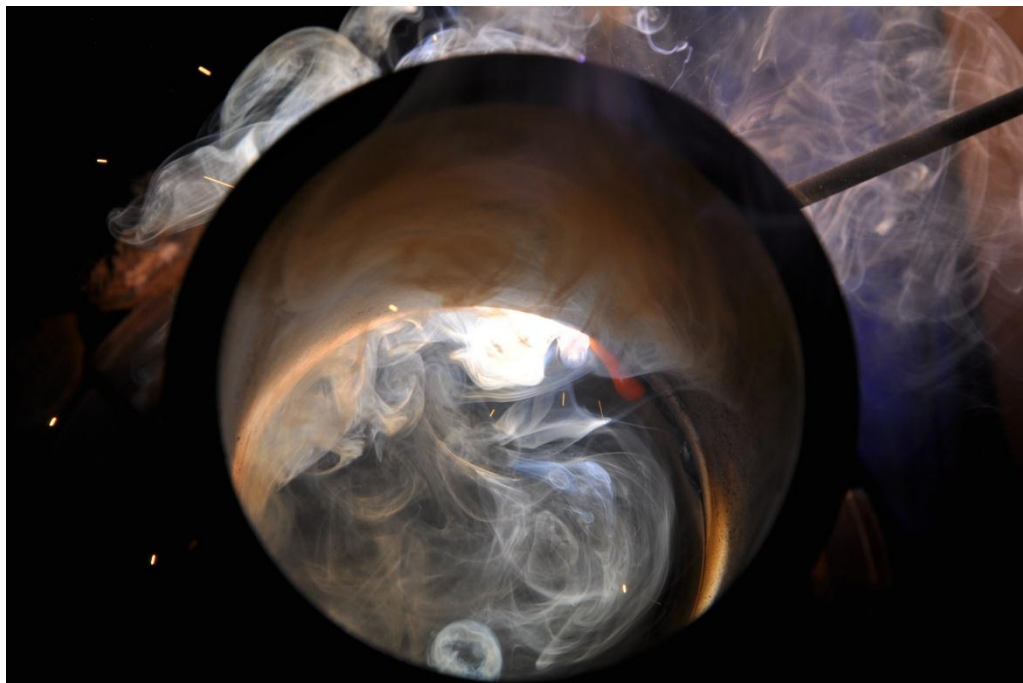
Vysoká intenzita metalurgických reakcí v oblasti elektrického oblouku je vyvolána vysokou teplotou a velkým reakčním povrchem mezi kovem a struskou. Metalurgické reakce svařovacího procesu probíhají převážně v mikroobjemech drobných kapek. Tyto tzv. mikrometalurgické reakce se vyznačují tím, že probíhají ve velmi krátkém časovém intervalu a nedochází tu k rovnovážnému stavu reakcí mezi kovem a struskou. Pouze existující přebytek strusky a v ní nadměrné množství reagujících složek, může zabezpečit zvýšenou čistotu svarového kovu i v krátkém časovém intervalu. Stupeň přiblížení se k rovnovážnému stavu závisí především na chemickém složení strusky a přídavného materiálu a svařovacích parametrech, které určují čas vzájemného působení reagujících fází: strusky, kovu, plynu.

Při svařování v ochranných atmosférách sehrávají z hlediska metalurgických procesů významnou úlohu ochranné plyny, některé prvky obsažené v přídavném drátu a způsob přenosu kapek kovu přes oblast elektrického oblouku. Vlastnosti svaru ovlivňuje:

- okolní atmosféra, hlavně plyny v ní obsažené, zejména kyslík, dusík a vodní pára,
- zplodiny metalurgických reakcí tj. oxidy a sloučeniny rozdílného složení,
- přídavné prvky, ochranné plyny apod.

Nežádoucímú přístupu dusíku a kyslíku ze vzduchu do svarové lázně se zabraňuje clonou ochranných plynů, které se při svařování elektrickým obloukem zvlášť do oblouku

přivádějí (argon, CO_2 , směsné plyny), nebo je vytvářejí některé komponenty obalu při jeho odtavování současně s jádrem elektrody. Při svařování obalenými elektrodami vzniká celá řada plynných zplodin i dýmy, viz obr. 3.6.



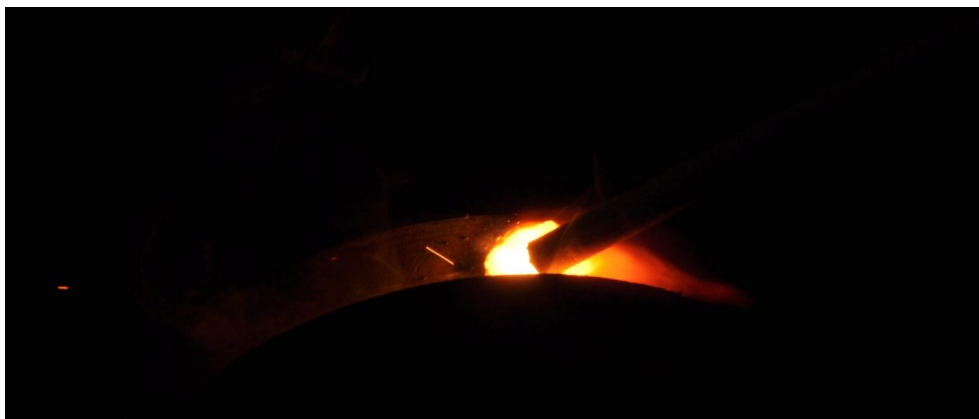
Obr. 3.6: Zplodiny vznikající hořením obalu elektrody

U bazických (zásaditých) obalů jsou to např. uhličitany vápníku, nejčastěji vápenec, mramor, křída, uhličitany hořčíku, tj. magnezit, dolomit a další. CO_2 vznikající při těchto reakcích působí jako ochranný plyn, oxid vápenatý (CaO), hořečnatý (MgO) a jiné přecházejí do strusky. Při svařování v ochranných atmosférách je ochranný plyn přiváděn do místa svarové lázně, svým přetlakem zabraňuje přístupu vzduchu, ochrana je v tomto případě velmi dobrá. Struska vzniká tavením obalu elektrod a musí zajišťovat zejména následující úkoly:

- čištění (rafinaci) svarové lázně od plynů a nežádoucích příměsí v průběhu svařovacího procesu (odstranění kyslíku a dusíku, vázání síry, fosforu apod.),
- rovnoměrné rozdělování prvků, zejména legujících ve svarové lázni,
- ochranu proti rychlému ochlazování svarové lázně, zvláště atmosférickým vzduchem,
- ochranu svarové lázně před účinky okolní atmosféry,
- snadnější svařování (navarování), zejména při svařování v polohách,
- formování svarové housenky, jejího kovu, charakter povrchové kresby.

Ztuhlá struska musí být snadno odstranitelná. Všeobecně působí struska lépe, má-li nižší teplotu tavení a větší povrchové napětí než tekutý kov, který jakmile se pokryje tekutou struskou, je již chráněn a izolován od vzduchu. Struska má tuhnout při nižších teplotách než svarový kov, jinak pak tuhne předčasně a zhoršuje unikání plynů ze svarové lázně, což může vést k pórovitosti svaru. Musí být špatným vodičem tepla, aby se povrch tavné lázně udržoval co nejdéle v tekutém stavu a zpomalovalo se chladnutí navařených housenek. Její hustota musí být tak velká, aby tuhnoucí svarový kov byl dobře formován, přitom dobře vyplouvaly a co nejdéle se odstraňovaly vzniklé nežádoucí sloučeniny – musí být metalurgicky aktivní. Zlepšovat stabilitu hoření oblouku, ionizaci.

Struska musí obsahovat komponenty, které zajišťují dezoxidaci svarové lázně, viz obr. 3.7, musí být schopna vázat vodík, dusík a i jiné prvky, např. síru, která se slučuje se železem na sulfid železnatý (FeS). U elektrod s kyselým obalem je síra vázána nejčastěji oxidem manganatým (MnO), u elektrod s bazickým (zásaditým) obalem oxidem vápenatým (CaO) a je převáděna do strusky.



Obr. 3.7: Svarová lázeň

Při svařování v ochranné atmosféře tvořenou směsí $\text{Ar} + \text{O}_2$ se dosahuje ve srovnání s čistým argonem zlepšení stability hoření elektrického oblouku, zlepšuje se formování svaru, dochází k zlepšení geometrie průvaru. Směs se vlivem kyslíku stává aktivní a dochází k oxidačním reakcím. Zvyšuje se teplota svarové lázně, snižuje se její povrchové napětí a zvětšuje propal prvků. Struktura svarového kovu je výrazně určena chemickým složením a rychlostí ochlazování. Oxidační procesy mají také vliv na čistotu svarového kovu. Většina oxidačních reakcí má exotermický charakter, přispívá tedy ke zvýšení teploty svarové lázně, čímž se tato stává tekutější a vytvářejí se lepší podmínky pro vyplouvání nečistot a vměstků, pro rafinační, dezoxidační a jiné chemické reakce vedoucí k zlepšení kvality svaru. Rovněž se zlepšuje formování povrchu svarové housenky. Při dezoxidaci svarové lázně také v

důsledku přítomnosti dezoxidačních prvků křemíku a manganu se vytváří struska s vhodným složením, což má příznivý vliv na čistotu svarového kovu. Za optimální množství kyslíku v argonu se považuje 3 až 5 % O_2 .

Velikost (objem) a geometrický tvar svarové lázně jsou ovlivněny hlavně měrným tepelným příkonem, termofyzikálními vlastnostmi a tloušťkou svařovaného materiálu. Rozhodující úlohu zde budou hrát hlavně svařovací parametry, tj. intenzita svařovacího proudu, napětí elektrického oblouku a rychlost svařování. Hlavními parametry geometrie svarové lázně je její délka, šířka, hloubka.

Rozložení teploty v tavné lázni je nerovnoměrné, na okrajích je teplota blízká teplotě tavení svarového kovu a ve středu svarové lázně je teplota mnohem vyšší. Absolutní hodnotu teploty ovlivňuje druh použité technologie.

Kov ve svarové lázni není v klidu, ale pohybuje se různými směry a rychlostmi. Tímto způsobem dochází k přenosu tepla a hmoty uvnitř svarové lázně. Proudění je vyvoláno dynamickými účinky elektrického oblouku elektromagnetickými silami a také tím, že v jednotlivých vrstvách má svarová lázeň, vlivem rozdílné teploty, různou viskozitu a z téhož důvodu je na povrchu lázně rozdílné povrchové napětí.

Svarový kov začíná tuhnout od krajů přechodové zóny tepelně ovlivněné oblasti základního materiálu a další růst tuhé fáze je orientovaný ve směru gradientu teploty, takže první krystaly mají sloupovitý tvar. Velikost zrn svarového kovu má vliv na jeho mechanické vlastnosti. Obecně platí, že čím je větší svarová lázeň, tím je hrubší zrna svarového kovu.

Při tuhnutí, hlavně v případě velkého objemu lázně, probíhá také odměšování (likvace), které je důsledkem rozdílné rozpustnosti určité příměsi v tuhém a tekutém kovu. Při styku tuhého a tekutého kovu, i když mají stejné chemické složení, se přemísťují prvky z jedné fáze do druhé, podle toho, ve které fázi jsou lépe a více rozpustné. Prvky, které likvují jsou více rozpustné v tekutém stavu kovu než v tuhém a koncentrace takového prvku v tuhé fázi se zmenší. Do takto ochuzené oblasti začne difundovat daný prvek ze sousedních oblastí tuhého svarového kovu.

V průběhu krystalizace svarové lázně v ní dochází k definitivnímu rozložení nečistot, jakými jsou sulfidické, oxidosulfidické a oxidické filmy (blány), dále pak oxidy v lobulárním tvaru.

4 Detailní řešení problematiky svařování

4.1 Návrh postupu svařování

Předběžný postup svařování pWPS

WPS neboli Welding Procedure Specification je specifikace postupu svařování. Jedná se o důležitou součást certifikovaných systémů řízení jakosti, která nám udává přesné parametry svařování daného svaru, jakými jsou například potřebné zkoušky svářeče, nastavení proudů, použitý základní materiál, použitý přídavný materiál atd. Vždy se jedná o formulář, který ve většině případů vypracovává svářecí technolog. V tuto chvíli však máme pouze tzv. pWPS, neboli předběžnou WPS. Plnohodnotnou WPS se tato pWPS stává až v momentě ověření a schválení navrženého postupu. Návrhy pWPS pro zkoušky jsou vypracovány dle ČSN EN 15614-1[4] viz příloha P1.

Protokol o postupu svařování WPQR

Obsahuje všechny údaje, které jsou nutné pro schválení předběžné specifikace pWPS.

Zkouška postupu svařování

Jedná se o vyhotovení a zkoušení normalizovaného kusu, jež byl zavařen dle pWPS, výstupní hodnotou je protokol o vykonané zkoušce (WPQR), který je potvrzen a datován zkušebním orgánem nebo zkušební organizací.

Specifikace postupu svařování WPS

Na základě schválené WPQR je vydán dokument, který nám poskytuje údaje o požadovaných hodnotách svařování, zajišťujících opakovatelnost jakosti ve výrobě.

4.1.1 Stanovení očekávané struktury svarového kovu pro jednotlivé druhy přídavných materiálů dle Schaefflerova diagramu, nebo De Longova diagramu

Pro všechny čtyři navržené přídavné materiály uvedené v tab. 3.2 byl použit základní materiál W. Nr. 1.4429 trubky o rozměrech $\varnothing 101,6 \times 8,0$ mm. Jeho chemické složení viz tab. 4.1.

Tab. 4.1: Chemické složení základního materiálu

C[%]	Mn [%]	Si[%]	Cr[%]	Ni[%]	Mo[%]	V[%]
0,026	1,74	0,33	17,5	13,9	2,62	0,02
Cu[%]	Ti[%]	Nb[%]	Co[%]	N[%]	P[%]	S[%]
0,06	<0,01	0,01	0,08	0,19	0,020	0,008

Chemické složení materiálů bylo stanoveno optickým emisním spektrometrem SPECTROMAXxM viz obr. 4.1.



Obr. 4.1: Spektrometr SPECTROMAXxM

Chemické složení trubky odpovídá svým složením předpisu W. Nr. 1.4429 viz tab. 4.2.

Tab. 4.2: Chemické složení materiálu dle předpisu W. Nr. 1.4429

C max.[%]	Mn max.[%]	Si max. [%]	P max [%]	S max. [%]	N[%]	Cr[%]	Ni[%]	Mo[%]
0,030	2,00	1,00	0,040	0,015	0,12 až 0,22	16,5 až 18,5	11,0 až 14,0	2,50 až 3,00

Mechanické vlastnosti základního materiálu musí splňovat předepsané hodnoty viz tab. 4.3.

Tab. 4.3: Předepsané mechanické hodnoty základního materiálu

R _{p0,1} [MPa]	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]	A _{min} [%]	KV[J]
295	330	580 - 800	35	100

Pro výše uvedené chemické složení základního materiálu byl stanoven:

- ekvivalent chromu Cr_E= 20,62
- ekvivalent niklu Ni_E= 21,094

Označení svařovaného normalizovaného vzorku NN01, NS02, SS03 a SS04

Vzorek byl svařen podle pWPS viz příloha P1 metodou svařování 141 s přídavným materiálem Thermanit 25/22 H. Pro uvedené chemické složení přídavného materiálu viz tab. 3.2 byl stanoven:

- ekvivalent chromu Cr_E= 27,5
- ekvivalent niklu Ni_E= 30

Označení svarového normalizovaného vzorku NN02

Vzorek byl svařen podle pWPS viz příloha P1 metodou svařování 141 s přídavným materiálem UTP A 25 35Nb. Pro uvedené chemické složení přídavného materiálu viz tab. 3.2 byl stanoven:

- ekvivalent chromu $Cr_E = 27,65$
- ekvivalent niklu $Ni_E = 45,95$

Označení svarového normalizovaného vzorku NN03

Vzorek byl svařen podle pWPS viz příloha P1 metodou svařování 141 s přídavným materiálem OK TIGROD 318 Si. Pro uvedené chemické složení přídavného materiálu viz tab. 3.2 byl stanoven

- ekvivalent chromu $Cr_E = 23,35$
- ekvivalent niklu $Ni_E = 14,31$

Označení svarového normalizovaného vzorku NN04

Vzorek byl svařen podle pWPS viz příloha P1 metodou svařování 141+111 s přídavným materiálem OK TIGROD 318 Si a OK 63.85. Pro uvedené chemické složení přídavného materiálu viz tab. 3.2 byl stanoven

- ekvivalent chromu $Cr_E = 22,2$
- ekvivalent niklu $Ni_E = 14,55$

Označení svarového normalizovaného vzorku NN05

Vzorek byl svařen podle pWPS viz příloha P1 metodou svařování 111 s přídavným materiálem OK 63.85. Pro uvedené chemické složení přídavného materiálu viz tab. 3.2 byl stanoven

- ekvivalent chromu $Cr_E = 22,2$
- ekvivalent niklu $Ni_E = 14,55$

4.2 Předpisy pro svařování a zkoušky svářečů

Pro zařízení výroben močoviny se používá plně austenitických ocelí a svařovacích materiálů, aby se zabránilo selektivní korozi δ -feritu v austenitické struktuře. Plně austenitický svarový kov má ale, jak známo, větší sklon k tvorbě trhlin za tepla. Tato skutečnost je ještě značně zesílena nízkým obsahem uhlíku.

Aby bylo zabráněno trhlinám za horka, je zde obvykle snaha dosáhnout ve svarovém kovu obsahu δ -feritu 5-10%, což podstatně snižuje nebezpečí náchylnosti k těmto trhlinám. Přítomnost δ -feritu o výše uvedené hodnotě je ale z korozního hlediska nežádoucí. Pro provozní podmínky zařízení močoviny může být hodnota δ -feritu max. 2%. Je zde tedy požadavek, aby při plně austenitické struktuře bylo zajištěno, že nedojde k výskytu trhlín za tepla. Tyto mohou vzniknout jak v podobě trhlín při tuhnutí ve vnitřní oblasti svarové housenky, tak také jako tak zvané trhlíny při opětovném ohřevu vedle svarové housenky v oblasti přechodové zóny, která je ohřátá těsně pod bod tání.

Na přídatné materiály austenitických ocelí pro svařování zařízení na výrobu močoviny jsou kladeny vysoké nároky s ohledem na korozní vlastnosti a přitom je požadována vysoká bezpečnost svarového kovu proti trhlinám za tepla.

Ke svařování austenitických korozivzdorných ocelí jsou vhodné všechny běžné metody svařování. Tepelný příkon má být nízký pro snížení nebezpečí deformace, praskání za tepla a zcitlivění nebo precipitace intermetalické fáze. Při svařování austenitických korozivzdorných ocelí se proto nemá používat přehřev, protože dodaným teplem vzrůstá nebezpečí deformací, praskání za tepla, zcitlivění a precipitace intermetalické fáze. Příprava svarových ploch je podobná jako v případě uhlíkových ocelí. Chemické složení svařovacího materiálu je většinou přibližně stejné nebo mírně přelegované ve srovnání se základním materiálem, aby byla vyrovnána korozní odolnost kompenzováním ztrát legujících prvků při svařování. Vzhledem k vysoké tvárnosti a houževnatosti austenitických korozivzdorných ocelí jsou tyto zřídka náchylné ke vzniku studených trhlín po svařování. Jak bylo zmíněno výše, jsou plně austenitické oceli náchylné na vznik teplých trhlín. Pro zabránění vzniku teplých trhlín se doporučuje:

- u austenitických korozivzdorných ocelí je potřebné volit svařované materiály pro dosažení δ feritu 5-10%. Pro naše provozní prostředí při výrobě močoviny max. 2 %, jinak rychle klesá korozní odolnost v tomto prostředí,
- pro plně austenitické korozivzdorné oceli je nutné volit svařovací materiály s nízkým obsahem nečistot a zvýšeným obsahem manganu,
- zajistit optimální čistotu,
- snížit tuhost upnutí spoje,
- použít nízký tepelný příkon a zabránit vzniku širokých svarových lázní,
- snížit teplotu interpass,
- snížit rychlost svařování,
- poměr šířky a výšky svarové lázně má být přibližně 1 až 1,5.

Austenitické korozivzdorné oceli jsou vzhledem k jejich vyšší tepelné roztažnosti a snížené tepelné vodivosti ve srovnání s uhlíkovými oceli daleko náchylnější na deformace.

Zkoušky svářečů probíhají dle ČSN EN 287-1[5]. Zkouška svářeče je založena na základních proměnných. Pro každou základní proměnnou je definován rozsah kvalifikace. Všechny zkušební kusy musí být svařeny při použití základních proměnných nezávisle. Pokud svářeč musí svařovat mimo rozsah kvalifikace, musí složit novou zkoušku. Základní proměnné jsou:

- metoda svařování,
- typ výrobku (plech nebo trubka),
- typ svaru (tupý nebo koutový),
- skupina materiálu,
- svařovací materiál,
- rozměry (tloušťka materiálu a vnější průměr trubky),
- poloha svařování,
- detaily provedení svaru (podložení, svařování z jedné strany, svařování z obou stran, jednovrstvé, vícevrstvé, svařování vpřed, svařování vzad).

Jednotlivé příklady viz tab. 4.4 a tab. 4.5.

Tab. 4.4: Kvalifikace svářeče EN 287-1 141 T BW 8 S t8 D101,6 ss nb

Vysvětlení			Rozsah kvalifikace
141	Metoda svařování	TIG	141
T	Trubka	-	T
BW	Tupý svar	-	BW, FW
8	Materiálová skupina podle CR ISO 15608	Austenitické nerezové oceli	8,9,2,9,3,10
S	Přídavný materiál	Plná tyčinka	S
t8	Tloušťka	Tloušťka materiálu: 8mm	3mm do 16mm
D101,6	Vnější průměr trubky zkušebního kusu	Vnější průměr trubky: 101,6mm	≥ 56 mm
PF	Poloha svařování	Tupý svar na trubce, trubka pevná, osa vodorovná – plocha svislá nahoru	PA, PB, PD, PE, PF
ss nb	Detaily provedení svaru	Jednostranné svařování, bez podložení vícevrstvý	ss nb, ss mb, bs pro FW: sl, ml

Tab. 4.5: Kvalifikace svářeče EN 287-1 111 T BW 8 S t8 D101,6 ss nb

Vysvětlení			Rozsah kvalifikace
141	Metoda svařování	-	111
T	Trubka	-	T
BW	Tupý svar	-	BW, FW
8	Materiálová skupina podle CR ISO 15608	Austenitické nerezové oceli	8,9,2,9,3,10
S	Přídavný materiál	Plná tyčinka	S
t8	Tloušťka	Tloušťka materiálu: 8mm	3mm do 16mm
D101,6	Vnější průměr trubky zkušebního kusu	Vnější průměr trubky: 101,6mm	≥ 56 mm
PF	Poloha svařování	Tupý svar na trubce, trubka pevná, osa vodorovná – plocha svislá nahoru	PA, PB, PD, PE, PF
ss nb	Detaily provedení svaru	Jednostranné svařování, bez podložení vícevrstvý	ss nb, ss mb, bs

Svařování normalizovaných zkušebních vzorků musí být pod přímým dozorem zkušebního orgánu nebo zkušební organizace. Zkoušení musí být potvrzeno zkušebním orgánem nebo zkušební organizací.

Zkušební kusy musí být označeny značkou zkušebního orgánu a svářeče před začátkem svařování. Navíc se musí u všech zkoušek označit poloha svařování a u svařování trubek, které jsou pevně upnuty, také označit pozici 12 hodin viz obr. 4.2.



Obr. 4.2: Označení vzorku na 12 hodině před svařováním

Pro náš případ svařování trubky Ø 101,6 mm a tloušťky 8 mm tupým svarem je minimální požadovaná zkušební délka svaru 150 mm. Pokud je obvod trubek menší než 150 mm, jsou požadovány doplňkové kusy, maximálně však tři.

Označení kvalifikace svářeče musí obsahovat následující údaje v předepsaném pořadí:

- Číslo normy (dle ČSN EN 287-1).
- Základní proměnné:
 1. metody svařování,
 2. druh výrobku,
 3. typ svaru,
 4. skupina materiálu,
 5. přídavné materiály,
 6. rozměry zkušebního vzorku,
 7. polohy svařování,
 8. detaily provedení svaru.

4.3 Provedení zkušebních svarů

Svarový spoj, na který se bude postup svařování ve výrobě vztahovat, musí být reprezentován zhotoveným normalizovaným zkušebním kusem nebo kusy. V našem případě se jedná o trubku $\varnothing 101,6$ mm, tloušťky 8 mm a délky 300 mm. Trubka bude spojena tupým svarem s plným průvarem metodou 141 viz obr. 4.3, dále metodou 111 viz obr. 4.4 a kombinací obou těchto metod. Příprava a svařování normalizovaných zkušebních kusů musí být provedeny podle příslušných pWPS, které jsou v příloze P1 a za všeobecných podmínek svařování ve výrobě, které musí reprezentovat. Svařování a zkoušení zkušebního kusu musí být osvědčeno zkušebním orgánem nebo zkušební organizací.



Obr. 4.3: Svařování kořene metodou 141



Obr. 4.4: Svařování kořene metodou 111

Příprava všech návarových ploch je provedena třískovým obráběním (soustružením). Pro čištění bude používáno nářadí (ocelové kartáče, sekáče) vyrobené z korozi-vzdorné oceli. Dále při technologii svařování budou dodržovány zásady:

- každý koncový kráter housenky, který by za provozu byl ve styku s korozním mediem, bude vybroušen v celém průřezu housenky nebo bude překryt následující svarovou housenkou,
- svařování provádět s nejnižším možným tepelným příkonem,
- udržovat krátký oblouk,
- elektrodu vést přímočaře bez kývavých pohybů, a to ve všech polohách svařování,
- dodržovat mezihousenkovou teplotu max. 150°C,
- zabránit znečištění návarových ploch i elektrod, aby nedošlo k nauhličení svarového kovu.

Přídavné materiály musí být opatřeny s následující dokumentací:

- protokol obsahující chemické složení svarového kovu, výsledky mechanických zkoušek,
- případné výsledky zkoušky korozní odolnosti svarového kovu (Huey-test).

Vyhodnocení takto připravených normalizovaných zkušebních kusů bude provedeno dle ČSN EN ISO 15 614-1[4], a pro tupý spoj s plným průvarem bude v rozsahu podle tab. 4.6.

Tab. 4.6: Rozsah zkoušení

typ	rozsah zkoušení
vizuální kontrola	100%
radiografická nebo ultrazvuková zkouška	100%
zkouška na povrchu trhliny	100%
příčná zkouška tahem	2 vzorky
zkouška rázem v ohybu	2 sady
kontrola makrostruktury	1 vzorek
zkouška tvrdosti	požadována

Pro výrobní technologii požadované zjištění korozní odolnosti bude ověřeno speciální zkouškou, tzv. Huey testem s předcházejícím měřením δ -feritu a zkouškou mikrostruktury.

Protokol o kvalifikaci postupu svařování WPQR je přehled výsledků hodnocení každého zkušebního kusu, včetně opakovaných zkoušek. Pokud nebyly nalezeny žádné nepříjemné vlastnosti nebo nepříjemné výsledky zkoušek, pak je WPQR, podrobně uvádějící výsledky zkoušek postupu svařování zkušebního kusu kvalifikována a musí být zkušebním orgánem nebo zkušební organizací potvrzena a datována.

Svařování normalizovaných zkušebních kusů bylo prováděno pro metodu svařování 141 svařovacím usměrňovačem typu Lincoln electric SQUARE-WAVE TIG-355 viz obr. 4.5, a pro metodu svařování 111 svařovacím usměrňovačem typu Lincoln invertec V250-S viz obr. 4.6.



Obr. 4.5: Svářecí usměrňovač Lincoln electric SQUARE-WAVE TIG-355



Obr. 4.6: Svářecí usměrňovač Lincoln invertec V250-S

Pro svařování byl zvolen III. stupeň sklonu pracovní charakteristiky zdroje (strmá charakteristika). Svařovací proud a napětí na oblouku byly odečítány na ampérmetru a voltmetru svařovacího usměrňovače. Rychlost svařování byla vyhodnocena z doby svařování a obvodu normalizovaného vzorku.

5 Zkoušení svarových spojů

Pro vyhodnocení kvality svarů, jak po stránce materiálové, tak kvality jejich svaření, se používá soubor zkoušek. Tyto zkoušky dokážou odhalit případné materiálové, ale také technické vady. Jedná se jak o zkoušky nedestruktivní i zkoušky destruktivní. Mezi tyto zkoušky patří vizuální kontrola, radiografické nebo ultrazvukové zkoušení svarových spojů, příčná zkouška tahem, zkouška lámavosti, makroskopické zkoušky, mikroskopické zkoušky, Huey-test a měření obsahu delta-feritu.

5.1 Nedestruktivní zkoušky svarových spojů

Nedestruktivní defektoskopie patří mezi obory technické diagnostiky. Obor nedestruktivního zkoušení zahrnuje několik metod, založených na odlišných fyzikálních principech. Metodika se volí podle tvaru součásti a materiálu, z něhož je vyrobena, typu a umístění hledaných vad.

V různých oborech průmyslu stoupají požadavky na kontrolu výrobků. Zvýšené nároky na jakost, spolehlivost, nezávadnost a životnost součástí, zvláště pokud se týká skrytých vad, vyvolaly potřebu vyvinout různé nedestruktivní metody zkoušení.

Patří sem tyto metody:

- vizuální kontrola,
- zkoušení prozařováním,
- zkoušení magnetickou metodou polévací,
- zkoušení kapilární metodou (penetrační zkouška),
- zkoušení ultrazvukem,
- zkoušení vířivými proudy.

Jelikož žádná metoda neodhalí všechny případné vady, používá se ve většině případů vhodná kombinace NDT metod závislá na mnoha činitelích, jako je typ materiálu, jeho tloušťka, předpokládaný typ necelistvosti apod. U svarových spojů se vždy jako první provede vizuální kontrola svarového spoje a dále zkouška prozařením nebo zkouška ultrazvukem nebo zkouška magnetickou metodou polévací, případně kombinace těchto zkoušek.

5.1.1 Vizuální kontrola

Vizuální kontrolou jakosti výrobku se rozumí posouzení povahy, velikosti, polohy a četnosti vad. Je prováděna již v průběhu svařování technologem a dále po svaření jako první kontrola kvality provedeného svarového spoje.

Vizuální kontrola, přímá nebo nepřímá, je základní metoda pro zjišťování a posouzení povrchových vad výrobků a musí být provedena před ostatními nedestruktivními kontrolami. Přímá vizuální kontrola je metoda poměrně jednoduchá a účinná, která však vyžaduje dobré zrakové schopnosti pracovníka a vhodné osvětlení kontrolovaného povrchu.

Vizuální kontrola musí být provedena s dostatečným časovým předstihem před ostatními předepsanými nedestruktivními zkouškami. Kontrolou musí být včas zjištěny všechny povrchové vady – nepravidelnosti, které by bránily správnému provedení a především vyhodnocení dalších nedestruktivních zkoušek. Provádí se v plném rozsahu i po opravách výrobku.

Základní podmínkou pro účinnou aplikaci vizuální kontroly je znalost technologie výroby kontrolovaného výrobku, znalost vzniku, druhů a polohy vad a kritérií jejich hodnocení a jejich přípustnosti. Hodnocení vad je také závislé na schopnostech, zodpovědnosti a vlastnostech pracovníka.

Podle přístupnosti kontrolovaného povrchu se vizuální kontrola dělí na:

- přímou vizuální kontrolu, prováděnou pouhým okem, při použití jednoduchých optických pomůcek,
- nepřímou kontrolu, která vyžaduje speciální zařízení, endoskopy apod.

Při vizuální kontrole se postupuje systematicky tak, aby byla podrobně prohlédnuta všechna místa takovým způsobem, kterým by byly objektivně a co nejspolehlivěji zjištěny a posouzeny vady, jejichž výskyt nelze vyloučit.

Časové zařazení zkoušky

Vizuální kontrola, přímá i nepřímá, se zásadně zařazuje jako první nedestruktivní kontrola, a to před ostatními předepsanými NDT zkouškami.

Přímá vizuální kontrola umožňuje zjišťovat zjevné vady na přístupném povrchu výrobku např. odlitku, svaru a v jeho okolí, pouhým okem pracovníka při použití jednoduchých optických pomůcek.

Pomůcky pro provedení přímé vizuální kontroly

Pro provedení správné vizuální kontroly se používají:

- lupy o vhodném zvětšení,
- zrcátko sloužící k pomocnému přisvětlení prohlíženého místa nebo pozorování místa z různých úhlů,
- měrky k určení převýšení svarů,
- měřidlo pro stanovení hloubky vady, hloubky zápalů nebo vrubů,
- zdroj světla vhodných vlastností,
- měřidlo (pásmo, posuvné) pro určení polohy nepravidelnosti svaru,
- prostředky pro dokumentaci zjištěných vad.

5.1.2 Zkouška radiologická

Zkoušení materiálu prozařováním nabývá v technické praxi stále větší důležitosti. Radiologické zkoušky využívají ke zkoušení materiálu lokální změny intenzity pronikavého záření, prošlého zkoušeným předmětem. Změna intenzity záření se pak registruje a výsledek se vyhodnocuje buď graficky, nebo vizuálně.

Radiologické zkoušky nabyly značného významu ve slévárenství, ve svařování, v různých hutních provozech, atd.

Zkoušení prozařováním se provádí buď na stálých pracovištích (provozech radiologické kontroly), nebo v terénu. Prozařování radioaktivními izotopy (gamagrafie) poskytuje značné výhody při práci v terénu, neboť nepotřebuje přídavné energetické zdroje.

Zářením obecně rozumíme šíření energie prostorem. Nositelem zářivé energie mohou být hmotné částice nabitě i nenabitě (např. elektrony, pozitrony, neutrony, α – částice); v takových případech mluvíme o záření korpuskulárním. Jestliže nositelem zářivé energie nejsou hmotné částice, jde o záření vlnové (záření elektromagnetické). Některé druhy záření α , β , γ atd. vznikají v přírodě bez lidského zásahu. Jiné druhy záření, např. rentgenové záření, se získávají uměle.

V oboru nedestruktivního zkoušení materiálu prozařováním využíváme pouze určité části spektra elektromagnetického záření, a to γ -složky záření radioaktivních izotopů a rentgenové záření. Elektromagnetické záření není nositelem hmoty ani elektrického náboje. Jednotlivé druhy se vzájemně liší pouze vlnovou délkou a způsobem vzniku.

Fyzikální princip prozařovací metody spočívá v interakci ionizujícího záření s hmotou zkoušeného výrobku a z následného zviditelnění (detekci) prošlého záření za kontrolovaným předmětem vhodným detektorem. Protože výsledkem interakce záření s hmotou je změna jeho primární intenzity, lze tímto způsobem zviditelnit místa v předmětu,

ve kterých se vyskytují nehomogenity – vady. V těchto místech dochází totiž ke změně intenzity záření. Takto exponovaný film, obsahující místa s rozdílným zčernáním, může být pro zpracování vyhodnocen.

Z uvedeného principu vyplývají i základní prostředky pro provedení a vyhodnocení kontroly metodou prozáření:

- zdroj ionizujícího záření, obvykle rentgenový přístroj viz obr. 5.1, kde prostředkem vzniku záření jsou elektrony (intenzitu záření lze regulovat) nebo gama zářič (iridium, selen nebo kobalt), kde záření vzniká rozpadem jader,
- detektor záření obvykle rentgenový film a prostředky pro jeho zpracování (temná komora, chemikálie),
- měrky, pomůcky a prostředky pro vyhodnocení filmů (negatoskopy),
- osobní dozimetry a měřiče záření (pro osobní kontrolu pracovníků).



Obr. 5.1: Rentgenovací přístroj

Výsledkem zkoušky prozářením je radiogram, na kterém je pomocí různého zčernání zviditelněn rozdíl intenzit ionizujícího záření po průchodu výrobkem. Rozdíl intenzit záření je způsoben buď rozdílnou tloušťkou předmětu, nehomogenitou tzn. přítomností různých vad nebo odlišnou absorbcí materiálů, z nichž je výrobek zhotoven. Podle použitého zdroje záření se pak v praxi mluví o rentgenogramu – je-li použito rentgenového přístroje nebo o gamagramu je-li použito radionuklidů (obvykle Iridium 192 nebo kobalt Co60).

Účel

Tento postup určuje způsob provedení zkoušky svarů potrubí a nádob pomocí záření X.

Rozsah platnosti

Postup je platný pro oddělení defektoskopie a diagnostiky. Nahrazuje pracovní postup PP-RT-03, vydaný 15. 03. 2000.

Provedení zkoušky RT pomocí záření X

Všeobecné

Tato metoda se používá pro zjišťování vnitřních vad svarů potrubí a nádob se záznamem na radiografický film.

Postup

Tento pracovní postup popisuje způsoby prozařování podle ČSN EN 1435 [6] a kritéria hodnocení pro prozařované svarové spoje podle ČSN EN 12517 [7]. Rozsah kontroly je dán dle důležitosti zařízení, výrobcem, objednavatelem. Všechny svarové spoje, které se mají prozařovat, se musí kontrolovat v souladu s písemnou návodkou, potvrzenou pracovníkem II. stupně, která musí být ve shodě s tímto pracovním postupem.

Časové zařazení zkoušky

Zkouška prozářením bude provedena až po potvrzení všech předcházejících kontrol předepsaných výrobcem.

Stav povrchu

Svarové nerovnosti nebo nepravidelnosti na povrchu svarů musí být odstraněny jak uvnitř (kde je to technicky možné), tak zvenčí, jakýmkoliv vhodným způsobem do takové míry, aby výsledný radiografický obraz nemohl v důsledku nepravidelnosti maskovat vadu nebo být zaměněn za obraz vady.

Zkušební zařízení

Práce bude prováděna za pomoci záření X – Rtg. přístrojem. Minimální tloušťka prozářením je 1 mm.

Vymezení ochranného pásma

Podle napětí na rentgenovém přístroji (kV) a expozičního času se stanoví velikost ochranného pásma. Ochranné pásmo se vymezí pomocí výstražné pásky a výstražných tabulí.

Volba filmu

Standardně se používá film pro gamma záření třídy A – filmy se volí podle požadavků objednavatele (Agfa R 7, Agfa D 7, Agfa R 5, Agfa D 5).

Ochrana před zadním rozptylem

Je třeba připojit na zadní stranu kazety písmeno „B“ vysoké 13 mm a tloušťky 1,5 mm. Objeví-li se světlý obraz písmene na radiogramu, je to známka nedostatečného zadního krytí a je třeba jej zesílit. Tmavý obraz písmene „B“ na světlém pozadí není důvodem k zamítnutí.

Zčernání

Dosažené zčernání na filmu v oblasti těsně vedle drátkové měřky a oblasti zájmu musí být minimálně 2,0. Maximální zčernání musí být 4,0. Dovolená tolerance zčernání při měření denzitometrem mezi jednotlivými měřeními je 0,05.

Radiografická technika dle ČSN EN 1435

Musí se provést adekvátní počet expozic, aby se prokázalo prozáření požadovaného rozsahu.

Technika přes jednu stěnu

V technice přes jednu stěnu prochází záření pouze jednou stěnou svaru (materiálu), tou, která je hodnocena na radiogramu.

Technika přes dvě stěny

Pokud není prakticky možné použít techniku přes jednu stěnu, musí se použít jedna z následujících technik přes dvě stěny.

Provedení zkoušky

Rentgen nastavíme na provozní parametry. Podle expozičního diagramu stanovíme expozici, ta se určuje dle tloušťky prozařovaného materiálu, ohniskové vzdálenosti a použitého filmu.

Na základě těchto údajů se volí napětí na rentgence, proud a expoziční doba. Pro trubky DN80 volíme napětí 150kV, proud 10 mA, čas prozařování 90s a ohniskovou vzdálenost 700 mm.

Dle ČSN 1435 rozdělíme trubku na 6 úseků po 60°, tyto úseky označíme, umístíme na ně měřky a defektometry viz obr. 5.2. Film vložíme do trubky na vnitřní stranu a započneme expozici, viz obr. 5.3.



Obr. 5.2: Trubka opatřená měrkami a defektometry



Obr. 5.3: Film umístěný na kořenu svaru, připravený k expozici

Po skončení expozice následuje negativní proces a následné vyhodnocování snímků. Pro vyhodnocení je nutno znát požadovaný klasifikační stupeň, tloušťku prozařovaného materiálu a úsek hodnocení.

Výsledky se na konec zanesou do protokolu, který je výstupní hodnotou celé této zkoušky a na jeho základě se technik rozhodne, zda svar vyhověl nebo nevyhověl pro použití v reálném provozu.

5.1.3 Zkouška ultrazvukem

Defektoskopické ultrazvukové metody zkoušení jsou stále vyhledávanějšími způsoby nedestruktivní kontroly materiálů a výrobků nejen pro zjišťování vadných míst, ale uplatňují se i při zjišťování fyzikálních vlastností materiálů (např. modulu pružnosti, pevnosti apod.).

V posledních letech byla ultrazvuková technika jak v oblasti teorie vlnění v pevných látkách, tak v metodice měření propracována tak, že se ultrazvuk stal jednou z nejrozšířenějších a nejvšestrannějších defektoskopických metod.

Podstatou akustických vln všech frekvencí jsou elastické kmity látky, které se šíří od místa k místu rychlostí, závislou na mechanických vlastnostech prostředí a nepřesahují rámec pružné deformace. Kmitočet vlnění může být různý a závisí na zdroji vlnění. Kmitočtová hranice slyšitelnosti, tj. vnímavosti zvuku sluchovými orgány, je v rozmezí od 16 do 20 kHz a nazývá se slyšitelným zvukem. Vlnění pod pásmem slyšitelnosti (pod 16 Hz) se nazývá infrazvuk a nad pásmem slyšitelnosti (nad 20 kHz) ultrazvuk.

Z uvedeného vyplývá, že ultrazvuk se liší od slyšitelného zvuku v podstatě jen kmitočtem, kdežto jeho fyzikální podstata je stejná.

Podmínky zkoušení

Pro všechny způsoby zkoušení materiálu ultrazvukem je rozhodující jakost povrchu kontrolovaného materiálu. Povrch má vliv zejména na citlivost kontrolní metody a její rozlišovací schopnost. Na jakosti povrchu závisí přesnost určení velikosti vady, popřípadě i její spolehlivé vyhledání. Pro ultrazvukovou kontrolu nesmí být nerovnost (drsnost) povrchu větší než $0,1\lambda$ (vazební vrstvy). V případech, kde je nerovnost povrchu větší než $0,1\lambda$, zmenšuje se akustický tlak ve směru osy ultrazvukového svazku, nastává jeho stranový rozptyl, a tím se i zhoršuje přesnost lokalizace vad. Čím je povrchová plocha rovnější a hladší, tím je možno zjistit menší vady.

Další důležitou podmínkou při zkoušení ultrazvukem je, aby se zajistilo dokonalé akustické navázání mezi sondou a zkoušeným předmětem. Tohoto spojení, nazývaného akustická vazba, se obvykle dosahuje různými neagresivními látkami kapalné nebo vazké konzistence. Pro přenos podélných vln jsou vhodnější kapalné látky (olej, glycerín, voda, chladicí kapalina pro obrábění apod.), kdežto pro přenos příčných vln je lepší vaznější prostředí (různé vosky, vazelína atd.). O použití druhu vazebního prostředí rozhoduje také stav povrchu. Na hrubší povrch se používá spíše vazelína, kdežto na povrchu broušeném pak oleje. Při mechanizované kontrole se ve většině případů používá jako vazebního prostředí vody.

Praktické provedení ultrazvukové zkoušky

Ultrazvukové vlny, šířící se prostředím, mohou být různého druhu, a vzájemně se liší způsobem pohybu částic v prostředí vzhledem ke směru šíření této vlny. Mohou být podélné (šíří se v prostředí pevném, plynném i kapalném) nebo příčné (šíří se pouze v prostředí pevném). Kromě těchto druhů vln, existují vlny povrchové a deskové, které však mají specifické použití v praxi. V neohrazeném prostředí je rychlost šíření ultrazvukových vln konstantní a je závislá na modulu pružnosti a hustotě prostředí. Na základě rychlosti šíření vlny a frekvence lze stanovit délku vlny (λ), určující teoreticky maximálně zjistitelnou velikost vady a to $\lambda/2$, která může být při zkoušení ultrazvukem zjištěna. Šíření ultrazvukových vln je ovlivněno každým rozhraním, na kterém pak nastává odraz vln resp. při šikmém dopadu i lom vlny.

Pro zkoušení materiálu se nejčastěji používá impulzová odrazová metoda. Podle této metody se do kontrolovaného materiálu vysílá krátký ultrazvukový impulz, který se odráží od všech rozhraní, tedy od vnitřních vad i od povrchu výrobku. Výhodou této metody je možnost vysílat i přijímat ultrazvukové vlny pouze jednou sondou (měničem) a proto lze kontrolovat výrobky, u nichž je přístupný pouze jeden povrch.

Jako indikátoru se používá obrazovka, na jejímž stínítku se zobrazují vysílané a přijímané impulzy. V okamžiku vysílání ultrazvukového impulzu se na stínítku obrazovky objeví tzv. vysílací impulz. Za dobu odpovídající dvojnásobku vzdálenosti vady od sondy se objeví na stínítku impulz tzv. vadové echo a dále koncové echo tj. odraz od protilehlé stěny výrobku. Vzdálenost mezi vysílacím – počátečním echem a echem koncovým je úměrná tloušťce zkoušeného materiálu. Konstantou úměrnosti je rychlost šíření ultrazvukové vlny v prostředí a délka časové základny na obrazovce.

Pro vysílání a přijímání ultrazvukových vln slouží ultrazvukové sondy, jejichž základním článkem je elektroakustický měnič různých frekvencí a rozměrů, který převádí energii elektrickou na mechanickou a naopak. Tato vlastnost měničů se nazývá piezoelektrický jev. Podle druhu vln, které sonda vysílá a přijímá, se sondy dělí na přímé a úhlové (oba typy i speciální) a dále na jednoduché a dvojité, podle počtu měničů a způsobu vysílání a přijímání vlny.

Podmínkou zjistitelnosti vad ultrazvukem je kolmý dopad ultrazvukového svazku na vadu. Vzhledem k orientaci vad ve svarech se proto převážně k jejich zkoušení používají sondy úhlové, jejichž úhel je dán tloušťkou základního materiálu zkoušeného svaru (čím menší tloušťka, tím větší úhel lomu sondy a naopak).

Ultrazvukovou metodou lze poměrně dobře zjišťovat vnitřní prostorové vady a velmi dobře pak vady plošné, kolmé k ose ultrazvukového svazku. Z principu metody však vyplývá nemožnost ultrazvukem určovat jednotlivé druhy vad nebo jednotlivé druhy vad od sebe rozlišovat např. trhliny od studených spojů nebo neprůvarů apod.

Nedestruktivní zkoušení svarových spojů ultrazvukem se řídí podle ČSN EN 1714 [8].

5.1.4 Volba zkoušky radiologické nebo ultrazvukové

Většina norem doporučuje upřednostnit zkoušku prozářením při tloušťce $t < 8$ mm základního materiálu, při větších tloušťkách doporučují zkoušku ultrazvukem.

Plošné vady typu trhlina, studený spoj apod. se lépe indikují zkouškou ultrazvukem. Sférické vady typu póry, bubliny apod. se lépe indikují zkouškou prozářením. V technicky náročných případech je vhodná kombinace obou metod.

5.1.5 Kapilární metoda

Kapilárními metodami lze zjistit jen takovou necelistvost (jak nazýváme obecně porušení souvislosti), která přímo souvisí s povrchem a je na povrchu otevřená, jako např. povrchové trhliny a póry. Zjištění vnitřních, uzavřených vad těmito metodami není možné.

Při kapilárních zkouškách se uplatňují hlavně vlastnosti fázových rozhraní a jevy pro ně charakteristické. Kapilarita v podstatě zahrnuje vliv poměru adhezních (přilnavých) sil mezi kapalinou a povrchem tuhé fáze ke kohezním (soudržným) silám mezi molekulami kapaliny.

Účinek těchto sil běžně pozorujeme na stěně každé nádoby s kapalinou. Pozorujeme-li stykové místo povrchu kapaliny se stěnou nádoby, zjišťujeme u různých kapalin různé velké zdvižení (elevace), nebo snížení (deprese). Vzhůru stoupá taková kapalina, která dobře smáčí stěnu nádoby, kde je tedy adheze (voda – čisté sklo). Naopak, je-li větší koheze než adheze (voda – mastný povrch, nebo rtuť – sklo), špatně smáčí stěnu nádoby a vzniká opačný jev – deprese.

Kapilarita velmi závisí na volné povrchové energii kapaliny, vztažené na jednotku povrchu, tj. na veličinu určenou silou, která působí kolmo na jednotku délky přímého okraje povrchové vrstvy kapaliny, jež se nazývá povrchovým napětím.

Podstatou kapilárních metod je použití vhodné, kapilárně aktivní (o nízkém povrchovém napětí) kapaliny, která pronikne do necelistvosti (např. povrchové trhliny dobře smáčivého, tj. odmaštěného a očištěného povrchu zkoušené součástky) a po odstranění jejího přebytku s povrchu zkoušeného předmětu vzlíná vlivem kapilárních sil, takže necelistvost zviditelní.

Pro detekci vad má tedy význam pouze kapilární elevace. Hledaná vada (trhliny, póry, apod.) působí jako kapilára. Při vzlínivosti se kvantitativně uplatňují jak vlastnosti povrchu kapiláry, tj. vady (hladký, drsný, mastný), tak vlastnosti vzlínající kapaliny (povrchové napětí, viskozita).

Existuje několik modifikací kapilárních defektoskopických metod, jež mají navzájem podobné metodické znaky a liší se většinou pouze použitou detekční kapalinou.

Z hlediska chemické aktivity detekční kapaliny je možno dělit kapilární metody na zkoušku s použitím kapaliny chemicky pasivní:

- zkouška barevnou kapalinou,
- zkouška fluorescenční kapalinou,
- ostatní (zkouška olejová, petrolejová).

a na zkoušky s použitím kapaliny chemicky aktivní:

➤ zkouška leptací.

Aktivitou detekční kapaliny se rozumí schopnost reagovat s povrchem zkoušeného materiálu. Pasivní kapaliny (např. petrolej, olej aj.) materiál nepoškozují. Aktivní kapaliny působí agresivně na povrch a jde zpravidla o účinky leptací, např. kyselin, alkálií nebo roztoků solí.

Vlastní provedení kapilárních zkoušek lze obecně rozdělit na tyto pracovní operace:

1. očištění povrchu zkoušeného předmětu,
2. nanesení detekční kapaliny na předmět,
3. odstranění přebytku detekční kapaliny z předmětu,
4. vyvolání indikace,
5. vyhodnocení.

Povrch se očistí mechanicky, nejlépe kartáčem. Nedoporučuje se použít zařízení nebo prostředky, které by mohly mít vliv na citlivost zkoušky tím, že by způsobily ucpání necelistvosti. Po mechanickém očištění se zkoušený předmět pečlivě odmastí ve vhodném rozpouštědle (štetcem, ponorem, stříkáním apod.). Na čistý povrch se nanáší indikační kapalina štetcem nebo nastříkáním, popř. u malých předmětů ponořením do kapaliny. Aby se zajistil dokonalý průnik detekční kapaliny do necelistvostí, je nutno nechat kapalinu působit na povrchu nejméně 5 minut, popř. u velmi jemných vad nanesení dvakrát či třikrát opakovat. Zvýšení citlivosti detekce se také podporuje zahřátím předmětu nebo lázně při nanášení ponorem (40 až 70°C), čímž se snižuje povrchové napětí indikační kapaliny.

Přebytečná indikační kapalina se z povrchu odstraní otřením, opláchnutím rozpouštědlem, popřípadě proudem vody. V poslední době se s úspěchem pro odstranění detekčních kapalin používají emulgátory buď samostatně, nebo ve spojení s detekční kapalinou. Při všech těchto způsobech je nutno dbát, aby se nevyplavila detekční kapalina z necelistvosti.

Indikace se vyvolává nanesením vývojky na zkoumaný povrch ihned po odstranění detekční kapaliny.

5.2 Destruktivní zkoušky svarových spojů

Při destruktivním zkoušení svarových spojů se ze zkušebního svarového spoje odebírají a připravují zkušební vzorky, které jsou pak podrobeny následujícím zkouškám:

- zkouška tahem,
- zkouška lámavosti,
- zkouška rázem v ohybu (pokud je tloušťka stěny větší než 12 mm, jelikož je tloušťka stěny našeho materiálu 8 mm, neprovádíme),
- zkouška tvrdosti (neprovádí se u austenitických ocelí),
- zkouška mikrostruktury.

5.2.1 Zkouška tahem

Metoda spočívá v deformaci zkušební tyče tahovým zatížením do přetržení pro stanovení mechanických vlastností, kterými jsou pevnost v tahu, mez kluzu, tažnost, kontrakce. U svarových spojů se hodnotí pouze pevnost a místo lomu, mez kluzu, tažnost a kontrakce se nehodnotí. Příčná zkouška svarového spoje je prováděna podle ČSN EN 895 [9], podélná zkouška podle ČSN EN 876 [10].

Tvary a rozměry zkušebních tyčí závisí na tvaru a rozměrech kovových výrobků, pro které jsou určovány mechanické vlastnosti. V případě svarů se odebírají zkušební vzorky příčně nebo podélně ze svarového kovu podle požadavků příslušných norem. Zkouška je prováděna na trhacím zkušebním stroji a podle tvaru a rozměrů zkušební tyče se instalují na základovou desku a na příčník trhacího stroje vhodné čelisti nebo vložky do čelistí, tak aby byly zkušební tyče pevně drženy a nedocházelo k jejich prokluzování, viz obr. 5.4.



Obr. 5.4: Přetržený vzorek uchycený v čelistech

Po přetržení zkušební tyče jsou výsledkem zkoušky tahem u svarových spojů hodnoty pevnosti v jednotkách MPa, vyhodnocené počítačem z průběhu zkoušky viz obr. 5.5. Dále se určuje místo, kde dojde k přetržení zkušební tyče, jedná se buď o základní materiál, nebo svar, popřípadě i druh a rozměry nalezených vad.

Bluehill 2

8. únor 2010

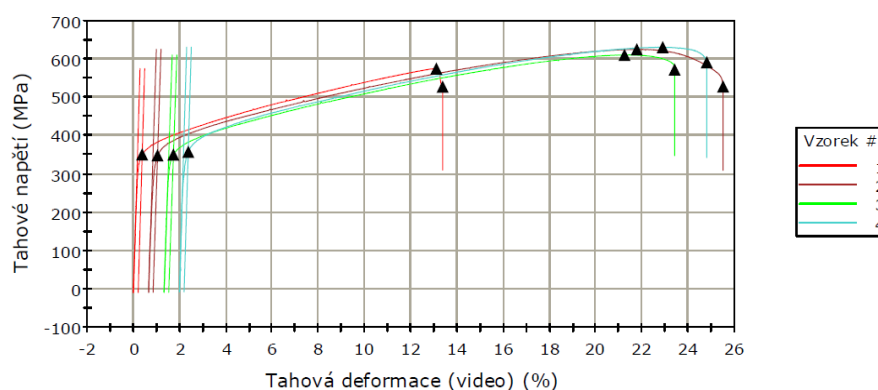
Tahová zkouška s videoprůtahoměrem
a bez automatického odečtu rozměrů z posuvky.

Zkouška proběhla za teploty 22°C
Vlhkosti 50%

Číslo protokolu	
Rychlost 1	10,0 MPa/s
Rychlost 2	10, mm/min
Druh testu	Kovy
Průměr	14,00000 mm
Datum posledního testu	8. únor 2010

	Rm (MPa)	Fm (kN)	Rp 0,2 % (MPa)	Fp 0,2 % (kN)	A5 (%)	Modul (MPa)
1	575,22	44,867	351,55	27,421	13,34	209013,3
2	624,94	48,745	349,40	27,253	24,80	183395,7
3	610,35	47,607	350,92	27,372	22,04	174839,8
4	630,41	49,172	358,51	27,964	22,76	199586,6
Maximální	630,41	49,172	358,51	27,964	24,80	209013,3
Minimální	575,22	44,867	349,40	27,253	13,34	174839,8
Průměr	610,23	47,598	352,60	27,502	20,73	191708,9
Standardní odchylka	24,83	1,94	4,05	0,32	5,07	15439,92

Vzorek 1 až 4



Obr. 5.5: Zaznamenané hodnoty tahové zkoušky na PC pomocí programu Bluehill

5.2.2 Zkouška lámavosti

Zkušební těleso kruhového, čtvercového, obdélníkového nebo mnohoúhelníkového průřezu se podrobí plastické deformaci ohybem do dosažení předepsaného úhlu, přičemž se nemění směr zatěžování. Zkouška lámavosti se provádí podle ČSN EN ISO 7438 [11], zkouška lámavosti svarových spojů podle ČSN EN 910 [12]. Na zkušebním stroji se nastaví vzdálenost podpěr podle tloušťky základního materiálu zkušební tělesa a působením

pomalu plynule narůstajícího zatížení se ohýbá pomocí ohýbacího trnu umístěného uprostřed mezi podpěrami až do předepsaného úhlu, viz obr. 5.6. Zkouška lámavosti se provádí za normální teploty v rozmezí 10 °C až 35 °C. Výsledkem zkoušky je hodnocení vzhledu zkušebního tělesa po zkoušce. V případě zkoušky lámavosti svarů je důvodem nevyhovujícího výsledku zkoušky přítomnost vady o délce 3 mm a více.

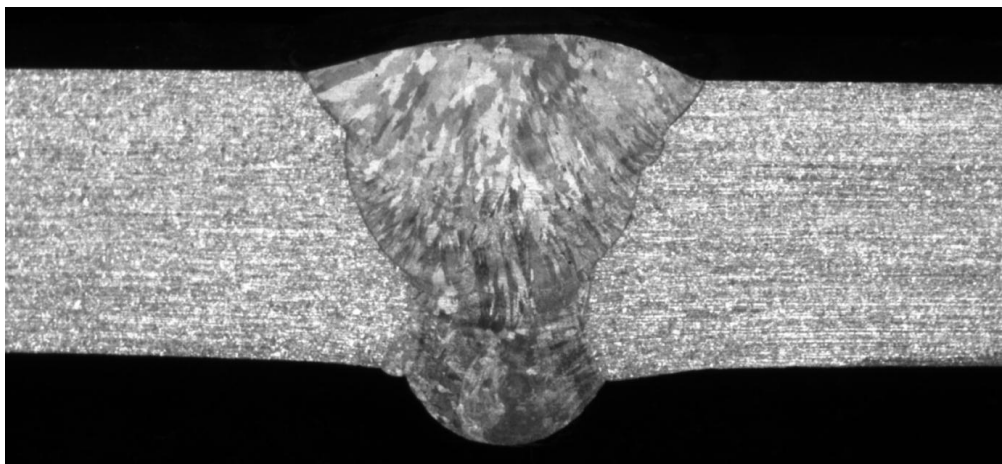


Obr. 5.6: Ohýbání vzorku při zkoušce lámavosti

5.2.3 Zkouška makrostruktury

Makroskopická kontrola svarových spojů spočívá ve stanovení charakteristických znaků svarů podle tabulky 1, ČSN EN 1321[13] při klasifikaci geometrických vad tavně svařovaných kovových materiálů podle ČSN EN ISO 6520-1 [14].

Vzorek se obvykle odebere ze zkušebního kusu příčně přes svar, viz obr. 5.7. Při odběru vzorku nesmí dojít k tepelnému ovlivnění nebo mechanickému porušení materiálu. Místo odběru a počet makrovýbrusů je stanoven příslušnou normou (např. ČSN EN ISO 15614-1, 15614-7 a -8). Řezná plocha obsahuje celý průřez svaru, přechodové oblasti a neovlivněný základní materiál. Makrovýbrus je vybroušen a naleptán vhodným činidlem podle svařovaných základních materiálů a použitého přídavného materiálu. Svarový spoj je hodnocen vizuálně v nenaleptaném i naleptaném stavu. Pokud je zjištěna přítomnost defektů, jsou jejich rozměry zjištěny posuvným měřítkem, mikrometrem nebo na stereomikroskopu.



Obr. 5.7: Svar NN 02 – zvětšení 5x

Charakteristické znaky svarového spoje jsou hodnoceny podle tabulky 1 ČSN EN 1321 s klasifikací vad tavně svařovaných kovových materiálů podle ČSN EN ISO 6520-1.

Při určování stupňů kvality svarových spojů oceli, niklu a jejich slitin jsou porovnány rozměry typických vad s mezními hodnotami uvedenými v tabulce 1 ČSN EN ISO 5817 [15].

Vyhodnocení výsledků dle ČSN EN ISO 6520-1 je dáno klasifikací nalezených vad dle referenčního číselníku vad z tabulky 1.

Při hodnocení dle ČSN EN ISO 5817 jsou svary hodnoceny podle mezních hodnot vad uvedených v tabulce 1. Svary musí být hodnoceny samostatně podle jednotlivých typů vad ozn. č. 1.1 až 4.1. V případě, že se v příčném řezu zjistí rozdílné typy vad, je nutné jejich samostatné posuzování.

5.2.4 Zkoušky mikrostruktury

Princip metody spočívá v mikroskopickém stanovení charakteru svarového spoje prohlídkou zkušební vzorku, který zahrnuje svarový kov, tepelně ovlivněné zóny po obou stranách svaru včetně svařených základních materiálů, v nenaleptaném a naleptaném stavu.

Vzorek respektive vzorky se ze zkušební kusu odeberou v počtu a z místa stanoveném příslušnou normou (ČSN EN ISO 15614-1, 15614-7 nebo 15614-8). Vzorek se vyřízne bez tepelného ovlivnění řezem vedeným obvykle kolmo k podélné ose svaru. U zkušebních kusů velkých tloušťek se vyříznutý vzorek dále rozdělí na menší části tak, aby byly na hodnocených plochách výbrusů obsaženy všechny sledované oblasti specifické pro daný typ spoje. Po vyříznutí vzorku z hodnoceného svaru spočívá příprava metalografického výbrusu ve třech následných krocích:

1. zalisování vzorku do bakelitu v předem vyhřátém pneumatickém lisu,
2. vybroušení vzorku na automatickém přístroji. Postup spočívá v postupném broušení vzorku při stálém ochlazování na rotačním kotouči s výměnnými brusnými papíry s odstupňovanou zrnitostí. Broušení se provádí od nejhrubší zrnitosti po nejjemnější,
3. vyleštění vzorku na automatickém leštícím přístroji, kde je podle druhu materiálu navolen směr otáčení, intenzita přitlaku držáku vzorků, čas leštění, druh diamantové pasty a lubrikantu. Mezi jednotlivými operacemi je průběžně kontrolována kvalita leštěné plochy výbrusu. Tato musí být bez rýh a zaoblených hran. Jednotlivé strukturní složky musí mít charakteristické, přípravou nezkreslené znaky bez známek mechanického nebo tepelného ovlivnění.

Připravený výbrus je nejdříve vyhodnocen v nenaleptaném stavu, kdy jsou hodnoceny defekty typu necelistvostí (trhliny, dutiny, studené spoje, neprůvary), nekovových vměstků a úpravy spoje v rozsahu tabulky 1, ČSN EN 1321 s klasifikací vad dle skupin tabulky 1 ČSN EN ISO 6520-1. Potom je naleptán příslušným leptadlem podle svařovaných základních materiálů a použitého přídavného materiálu. Poté se výbrus opláchne vodou, případně etylalkoholem a řádně vysuší.

Po naleptání mikrostruktury jsou vyhodnoceny charakteristické znaky mikrostruktury základního materiálu, jako řádkovitost, směr vláken struktury, dále struktura svarového kovu a tepelně ovlivněných oblastí, kovové spojení na liniích natavení nebo rozhraní jednotlivých housenek apod. V tepelně ovlivněných zónách je hodnoceno především zhrubnutí zrna struktury, precipitace nebo vznik struktur nepříznivě ovlivňujících materiálové vlastnosti spoje. V naleptaném stavu jsou hodnoceny i prováděné opravy a úpravy spoje a příp. průběh trhlin nebo dalších necelistvostí.

5.3 Zkoušky korozní odolnosti

Korozní odolnost svarových spojů se kontroluje především těmito dvěma zkouškami:

- stanovení odolnosti proti mezikrystalové korozi,
- zkouška korozní odolnosti (HUEY TEST).

Pro potřeby zařízení syntézy močoviny je třeba, aby materiál obstál při „přísnější“ z obou zkoušek, tj. HUEY-TESTU.

5.3.1 HUEY-TEST

Pojem „zkouška odolnosti proti mezikrystalové korozi“ se používá pro korozní zkoušku, kterou se přednostně zjišťuje náchylnost okolí hranic zrn ocelí ke korozi. Korozivzdorné austenitické a feriticko-austenitické oceli mohou být napadeny korozí podél hranic zrn, pokud byly vystaveny teplotám v rozmezí od 500 °C a 1000 °C. Tyto teploty, které mohou vyvolat zcitlivění k mezikrystalové korozi, se mohou vyskytnout při tváření za tepla, při nedokonale provedeném rozpouštěcím žhání nebo při svařování. Zkouška je provedena podle interní normy společnosti UNIPETROL RPA, která byla vypracována ve shodě s ČSN EN ISO 3651-1. Metoda spočívá v expozici zkušebních vzorků v pěti cyklech po 48 hod. ve vroucím roztoku kyseliny dusičné. Kritériem pro hodnocení výsledku zkoušky je úbytek hmotnosti zkušebních vzorků, který se zjišťuje po každém cyklu vážením. Podle N 11 767 se rovněž hodnotí hloubka selektivního napadení. Podrobný popis zkoušky je uveden v kapitole 6.3.

6 Vyhodnocení zkoušek svarových spojů

Označení zkušebních vzorků je v tab. 6.1.

Tab. 6.1: Označení zkušebních vzorků

Označení	Popis
S	základní materiál staré trubky
N	základní materiál nové trubky
SS	obvodový svar na staré trubce
NS	obvodový svar mezi starou a novou trubkou
NN 01	obvodový svar na nové trubce
NN 02	obvodový svar na nové trubce
NN 03	obvodový svar na nové trubce
NN 04	obvodový svar na nové trubce
NN 05	obvodový svar na nové trubce

6.1 Výsledky nedestruktivních zkoušek

6.1.1 Vizuální kontrola

Vizuální kontrole byly podrobeny všechny svarové spoje. Kontrola byla provedena v souladu s normami ČSN EN 970 [16] a ČSN EN 5817 a byla zaměřena především na tvar a rozměry svarů (profil povrchu, velikost převýšení, rovnoměrná kresba, soulad mezi šířkou a výškou svaru), dále na nepravidelnosti na povrchu svarů a v HAZ (např. trhliny, bubliny), na zápaly apod. Všechny svarové spoje vizuální kontrole vyhověly, výsledky jsou uvedeny v příložené zprávě č. 36a/10 viz příloha P2.

6.1.2 Zkouška prozařováním

Podmínky zkoušky prozařováním jsou spolu s výsledky uvedeny v příložených zprávách č. 52388/08, 52388/08-1, 53504/10, 53504/10-1, 53504/10-2, 53504/10-3, viz příloha P4.

6.1.3 Zkouška kapilární metodou

Podmínky zkoušky kapilární metodou jsou spolu s výsledky uvedeny v příložené zprávě č. 36/10. viz příloha P3.

6.2 Výsledky destruktivních zkoušek

6.2.1 Zkouška tahem

Ze svařených trubek byly odebrány příčně přes svar vzorky, ze kterých byly vyrobeny zkušební tyče o průřezu 12 x 5,5 až 6,5 mm podle tloušťky trubky. Staré trubky musely být před svařováním třískově obrobeny, aby byly odstraněny části korozně napadeného vnitřního povrchu. Zkouška byla provedena na trhačím stroji INSTRON 600LX viz obr. 6.1. Výsledky jsou uvedeny v tab. 6.2.



Obr. 6.1: Trhačí stroj INSTRON 600LX

Tab. 6.2: Výsledné hodnoty při zkoušce tahem

vzorek	rozměr [mm]	maximální zatížení [MPa]	pevnost Rm [MPa]	místo lomu
SS	12,0 x 5,0	36 570	647	SVAR
NS	12,0 x 5,5	40 030	607	SVAR
NN	12,0 x 6,3	46 130	610	SVAR
NN 02	12,0 x 6,5	44 867	575	SVAR
NN 03	12,0 x 6,5	48 745	624	SVAR
NN 04	12,0 x 6,5	47 607	610	SVAR
NN 05	12,0 x 6,5	49 172	630	SVAR

6.2.2 Zkouška lámavosti

Zkouška lámavosti byla provedena na připravených zkušebních tyčích ohýbacím trnem na zkušebním stroji ZD 20.

Tab. 6.3: Výsledné hodnoty při zkoušce lámavosti

vzorek	rozměry b x a [mm]	symbol zkoušky	průměr ohýbacího trhnu [mm]	vzdálenost válečků [mm]	° ohybu	výsledky zkoušky
SS	18 x 6,5	FBB	25	44	180°	VYHOVUJE
SS	18 x 6,5	RBB	25	44	180°	VYHOVUJE
NN	18 x 7,5	FBB	25	44	180°	VYHOVUJE
NN	18 x 7,5	RBB	25	44	180°	VYHOVUJE
NS	18 x 7,5	FBB	25	44	180°	VYHOVUJE
NS	18 x 7,5	RBB	25	44	180°	VYHOVUJE
NN 02	16 x 8	FBB	25	44	180°	VYHOVUJE
NN 02	18 x 8	RBB	25	44	110°	NEVYHOVUJE
NN 03	16 x 8	FBB	25	44	180°	VYHOVUJE
NN 03	18 x 8	RBB	25	44	180°	VYHOVUJE
NN 04	16 x 8	FBB	25	44	180°	VYHOVUJE
NN 04	18 x 8	RBB	25	44	180°	VYHOVUJE
NN 05	16 x 8	FBB	25	44	180°	VYHOVUJE
NN 05	18 x 8	RBB	25	44	180°	VYHOVUJE

6.2.3 Zkouška makrostruktury

Příprava makrovýbrusu

Ze svarových spojů byl podle předpisu ČSN EN ISO 15614-1 vyříznut vždy jeden vzorek řezem vedeným kolmo přes obvodový svar a stěnu svařených částí trubek tak, aby nedošlo k tepelnému ani mechanickému poškození řezné roviny odebíraného vzorku. Vzorky byly na obou stranách od okraje svaru zkráceny na délku 2,5 násobku tloušťky stěny trubek tak, aby makrovýbrusy zahrnovaly celý svar, obě přechodové zóny (HAZ) a tepelně neovlivněný základní materiál. Takto připravené vzorky pak byly na leštících pultech s plynule regulovatelnými otáčkami a chladicím médiem vybroušeny na metalografických papírech až po zrnitost papíru 320. K naleptání makrostruktury bylo po vyhodnocení výbrusů v nenaleptaném stavu použito leptadlo Vogel, zahřáté na teplotu přibližně 90 °C.

Makroskopické hodnocení podle předpisu ČSN EN 1321

V nenaleptaném stavu nebyly vizuální prohlídkou u žádného svarového spoje zjištěny nepřipustné nečistosti typu trhlin, studených spojů resp. přípustných vad typu pórů.

Po naleptání makrostruktury bylo další hodnocení svarů provedeno na stereomikroskopu LEICA S6D s videokamerou DFC 290 za pomoci softwaru IM50.

Geometrie svarů včetně úhlu, šířky, převýšení krycí a kořenové housenky a způsobu kladení housenek všech tří spojů odpovídá deklarovanému typu svaru dle pWPS NN01 a naleptané makrovýbrusy všech svarů jsou zdokumentovány v příloze P5 na obr. 10.1 až obr. 10.5. Makrostruktura svarů včetně kovového spojení jednotlivých housenek a svařovaných částí včetně šířky tepelného ovlivnění za linií natavení je bez nepřipustných anomálií.

6.2.4 Zkouška mikrostruktury

Odběr, příprava a následné hodnocení svarů a základních materiálů svařených trubek bylo provedeno podle ČSN EN 1321 a s ní souvisejících norem ČSN EN ISO 15614-1, ČSN EN ISO 6520-1 a 5817.

Odběr a příprava metalografického výbrusu

Odběr vzorků byl proveden ve shodné části obvodu svaru trubek jako pro zkoušku makrostruktury, a to na přístroji ISOMET 4000 s regulovatelným nastavením řezných parametrů a s uzavřeným okruhem chladicí emulze tak, aby nedošlo k nepřípustným deformacím nebo tepelnému ovlivnění řezných ploch. Odebrané vzorky pro metalografické výbrusy zahrnují celé svary včetně převýšení, obě tepelně ovlivněné zóny a tepelně neovlivněné základní materiály. Další dva výbrusy byly vyříznuty ze základních materiálů trubek N a S bez odstranění porušené vrstvy na vnitřním a vnějším povrchu u trubky S, která vykazuje poškození předchozím provozem na zařízení výroby močoviny. Řezy byly vedeny kolmo z povrchu přes celou tloušťku stěny souběžně s podélnou osou obou trubek v délce řezu ca 20 až 25 mm.

Vzorky byly následně odmaštěny v etylalkoholu, osušeny a vloženy do pneumatického lisu SIMPLIMEX 3000, kde byly zalisovány do bakelitu. Po ochlazení a vyjmutí vzorků z válce lisu bylo provedeno broušení na metalografických papírech s odstupňovanou zrnitostí a potom leštění na leštících plátnech za použití leštící diamantové suspenzi smáčené příslušným lubrikantem. Vše bylo provedeno na poloautomatických přístrojích PHOENIX BETA od výrobce BUEHLER viz obr. 6.2.



Obr. 6.2: Leštička Phoenix Beta výrobce Buehler

Metalografické hodnocení bylo provedeno na světelném optickém mikroskopu LEICA DMI5000M s videokamerou DFC 290 viz obr. 6.3 a softwarovým programem Leica

MW v nenaleptaném a naleptaném stavu při použití leptadla Vogel, jež se skládá ze 180 ml HCl konc., 18 ml HNO₃ konc., 180 ml H₂O, leptáno při 80 °C až 90 °C.



Obr. 6.3: Optický mikroskop LEICA s videokamerou

Trubka S

Na vnějším povrchu trubky nebyly zjištěny výraznější necelistvosti nebo trhliny. Povrch je poměrně hladký. Na vnitřním, původním povrchu trubky S se nacházejí zbytky korozně porušeného povrchu formou interkrystalické koroze obr. 10.6 viz příloha P5. Maximální naměřená hloubka interkrystalického poškození vnitřního povrchu je na hodnocené ploše do 1,33 mm.

Struktura základního materiálu je na průřezu stěnou homogenní a je tvořena austenitem (s orientační velikostí zrn $G = 5$ dle ASTM E112) bez patrného zcitlivění hranic zrn a dále nepatrným podílem řádkovitých útvarů δ -feritu obr. 10.7 viz příloha P5. Struktura odpovídá stavu po rozpouštěcím žíhání.

Trubka N

Na vnějším povrchu trubky se nacházejí mikroskopické necelistvosti zasahující do hloubky 0,03 mm a po naleptání struktury i tenká deformovaná vrstvička o tloušťce do 0,02 mm. Struktura na průřezu stěnou není zcela homogenní a ve střední části tloušťky stěny a především u vnitřního povrchu je vidět podélná pruhovitost, která souvisí s tvářením. Vlastní struktura je tvořena jemnozrnnějším austenitem (orientační velikost zrn $G = 7$) bez karbidické fáze uvnitř nebo po hranicích austenitických zrn a dále nepatrným podílem δ

feritu obr. 10.8 viz příloha P5, obr. 10.9 viz příloha P5 (vnitřní povrch) a obr. 10.10 viz příloha P5 (vnější povrch).

Trubka SN

V tepelně ovlivněných zónách po obou stranách svaru nebyly zjištěny nepřipustné necelistvosti nebo anomálie struktury viz obr. 10.12 příloha P5, kde je zachycena HAZ u vnějšího povrchu na straně trubky S viz obr. 10.13 příloha P5, kde je přechod svar – trubka N u vnějšího povrchu. Mikroskopické necelistvosti se vyskytují pouze v HAZ na straně trubky S na vnitřním povrchu viz obr. 10.14 příloha P5, jejich max. hloubka je však do 0,03 mm. Svarový kov je tvořen austenitickou maticí a drobným karbidickým precipitátem, místy se však po hranicích licích austenitických zrn vyskytují mimo útvary karbidického precipitátu a i drobné nekovové částice viz obr. 10.15 příloha P5. Celkový stav svarového spoje je vyhovující. V tepelně ovlivněných zónách po obou stranách svaru nebyly zjištěny nepřipustné necelistvosti nebo anomálie struktury viz obr. 10.12 příloha P5, kde je zachycena HAZ u vnějšího povrchu na straně trubky S a obr. 10.13 viz příloha P5, kde je přechod svar – trubka N u vnějšího povrchu. Mikroskopické necelistvosti se vyskytují pouze v HAZ na straně trubky S na vnitřním povrchu obr. 10.14 příloha P5, jejich max. hloubka je však do 0,03 mm. Svarový kov je tvořen austenitickou maticí a drobným karbidickým precipitátem, místy se však po hranicích licích austenitických zrn vyskytují mimo útvary karbidického precipitátu a i drobné nekovové částice obr. 10.15 příloha P5. Celkový stav svarového spoje je vyhovující.

Trubka SS

V tepelně ovlivněné zóně a na linii natavení se na vnějším nevyskytují nepřipustné necelistvosti typu trhlin nebo studených spojů a taktéž zde nedošlo k výraznému zhrubnutí austenitického zrna nebo vzniku nepřipustných strukturních fází. Struktura svarového kovu je tvořena austenitickou maticí s výskytem drobného precipitátu místy i po hranicích licích zrn především v kořeni viz obr. 10.11 příloha P5. Svar je bez strukturních anomálií.

Trubka NN 01

Na linii natavení ani v HAZ na vnitřním ani vnějším povrchu se nevyskytují nepřipustné necelistvosti typu trhlin nebo studených spojů viz obr. 10.16 příloha P5, kde je zachycena HAZ po naleptání struktury na vnitřním povrchu. Na linii natavení a dále i na

rozhraní krycí a střední housenky se nachází necelistvost typu neprůvaru, která je zčásti vyplněna šedou nekovovou hmotou, obr. 10.17 viz příloha P5. Jedná se o vadu vzniklou při svařování (dle ČSN EN ISO 6520-1 vada referenční číslo 401) o celkové délce na daném řezu 0,738 mm. Vlastní svarový kov je ve všech třech vrstvách (housenkách) přibližně totožný a je tvořen austenitickou maticí a drobným karbidickým precipitátem. Struktura svarového kovu nevykazuje podstatnější anomálie viz obr. 10.18 příloha P5.

Trubka NN 02, NN 03, NN 04, NN 05

U vzorku NN 02 se na linii natavení v hloubce přibližně 2 mm pod vnějším povrchem nachází studený spoj (neprůvar) o délce 0,3 mm viz obr. 10.19 příloha P5. Jiné defekty nebyly zjištěny. U všech vzorků se vyskytují poměrně ostré přechody základního materiálu trubky do svaru, které jsou v místech u vnějšího povrchu, ve středu a v kořeni svaru dokumentované na obr. 10.20 až obr. 10.31 viz příloha P5. Struktura svarových spojů je tvořena výrazně orientovanými dendrity litého austenitu a δ -feritem, který podle měření jeho obsahu je v největší míře přítomen ve vzorku NN 03 (až 7,7%) – viz bod 6.2.5 měření obsahu δ -feritu.

6.2.5 Měření obsahu delta-feritu

Obsah δ -feritu byl zjištěn pomocí přístroje feritskop Fischer MP 30. Výsledky jsou uvedeny viz tab. 6.4.

Tab. 6.4: Obsah δ -feritu

místo měření	obsah delta-feritu [%]
trubka S	0
trubka N	0
svar SS	0 až 0,08
svar NN	0 až 0,13
svar NN 01	0 až 0,23
svar NN 02	0,4 až 0,23
svar NN 03	5,1 až 7,7
svar NN 04	0,3 až 1,7
svar NN 05	0,66 až 2,4

6.3 Zkouška korozní odolnosti HUEY-TEST

Pro Huey-test byly z každého zkušební kusu třískovým obráběním a obroušením brusným papírem zrnitosti 120 připraveny dva zkušební vzorky tvaru desky o přibližném rozměru 34 x 31 x 3,5 mm označené doplňkovými čísly 1 a 2, přesné rozměry byly zjištěny měřením s přesností 0,01 mm. Zcitlivění v peci nebylo provedeno vzhledem k tomu, že vzorky byly svařovány a bylo možno následně porovnat korozní úbytky u tepelně neovlivněných a vzorků tepelně ovlivněných svařováním.

Vzorky byly po odmaštění, odmoření a opláchnutí zváženy s přesností 0,1 mg. Potom byly vloženy na skleněné opěrky do Erlenmeyerových baněk viz obr. 6.4, a to vždy dva vzorky do jedné baňky. Na dno baněk se vsypalo několik varných kuliček. Potom byly vzorky přelity 65% kyselinou dusičnou v množství min. 20 ml/cm². Na baňky byly nasazeny prstové chladiče s protékající vodou a zapnutím topné desky v digestoři byl roztok uveden do varu tak, aby var byl mírný a rovnoměrný.

Zkouška sestávala celkem z pěti cyklů po 48 hodinách, přičemž pro každý cyklus byl použit čerstvý roztok. Po každém cyklu byly zkušební vzorky omyty vodou, osušeny a

zváženy pro zjištění korozních úbytků. Po posledním cyklu byl z každých dvou vzorků vybrán ten s vyšším korozním úbytkem pro přípravu metalografického výbrusu pro zjištění hloubky případného selektivního korozního napadení. Vyhodnocení je uvedeno viz tab. 6.5.



Obr. 6.4: Erlenmeyerovy baňky

Tab. 6.5: Korozní úbytky v jednotlivých cyklech

vzorek	plocha	korozní rychlost [$\text{g/m}^2 \cdot \text{hod}$]					
		cyklus 1	cyklus 2	cyklus 3	cyklus 4	cyklus 5	průměr
S1	26,23	0,2121	0,2160	0,2121	0,2264	0,2415	0,2216
S2	25,27	0,2077	0,2193	0,2135	0,2350	0,2457	0,2242
N1	26,22	0,1986	0,2184	0,2153	0,2518	0,2788	0,2326
N2	24,97	0,2093	0,2143	0,2143	0,2502	0,2694	0,2315
SS1	25,74	0,2063	0,1966	0,1966	0,2217	0,2282	0,2099
SS2	24,90	0,2017	0,1933	0,1967	0,2209	0,2335	0,2092
NS1	25,58	0,1612	0,2134	0,2370	0,2809	0,2875	0,2360
NS2	25,58	0,1621	0,2117	0,2337	0,2761	0,2842	0,2336
NN01-1	25,21	0,2058	0,2107	0,2248	0,2653	0,2496	0,2312
NN01-2	25,07	0,2219	0,2219	0,2377	0,2893	0,2735	0,2489
NN02-1	25,21	0,7455	2,5207	4,3140	vzorek nevyhověl již od 1. cyklu		
NN02-2	25,09	0,6819	2,1370	3,4277			
NN03-1	25,14	0,5443	2,1947	4,0704	vzorek nevyhověl již od 2. cyklu		
NN03-2	25,08	0,2135	0,5606	2,1636			
NN04-1	25,23	0,2089	0,2428	0,2874	0,3022	0,4046	0,2892
NN04-2	25,29	0,1903	0,2397	0,2776	0,2924	0,3781	0,2756
NN05-1	25,19	0,2093	0,2242	0,2878	0,3292	0,3763	0,2854
NN05-2	25,11	0,2141	0,2100	0,2855	0,3137	0,3676	0,2782

6.3.1 Metalograficky stanovená hloubka selektivního napadení

Zkouška byla provedena na metalografických výbrusech zhotovených z exponovaných zkušebních tělísek bezprostředně po ukončení Huey testu. Výbrusy byly připraveny v podélném směru řezu vedenými kolmo z povrchu, přičemž výbrus ze

základního materiálu nové a staré trubky (S2 a N1) zachycuje i exponovaný povrch kolmého řezu stěnou (hodnocena koroze probíhající po vláknech, tj souběžně se směrem tváření).

Tab. 6.6: Hloubka selektivního napadení

Vzorek	hloubka selektivního napadení [μm]	
	podélný směr (předpis N 11 767 – max. 200 μm)	příčný směr (předpis N 11 767 – zákl. mat. max. 70 μm , svar max. 200 μm)
S-2	97 μm (Obr. 10.32)	14 μm (Obr. 10.33)
N-1	26 μm (Obr. 10.34)	16 μm (Obr. 10.35)
SS-1	-	11 μm - HAZ (Obr. 10.36) 8 μm - svar
NS-1	-	26 μm - HAZ 67 μm - svar (Obr. 10.37)
NN 01-2	-	14 μm - HAZ svar 0
NN 02-1	-	950 μm – vnější povrch svaru (Obr. 10.38) 450 μm – kořen svaru (Obr. 10.39) 65 μm - přilehlý základní materiál (Obr. 10.40)
NN 03-1	-	350 μm – vnější povrch svaru (Obr. 10.41) 150 μm – kořen svaru (Obr. 10.42) 80 μm – přilehlý zákl. materiál (Obr. 10.43)
NN 04-1	-	65 μm – vnější povrch svaru (Obr. 10.44) 150 μm – kořen svaru (Obr. 10.45) 15 μm – přilehlý základní materiál
NN 05-1	-	50 μm – vnější povrch svaru (Obr. 10.46) 60 μm – kořen svaru (Obr. 10.47) 15 μm – přilehlý základní materiál

Ze zkušebních svarů bylo mikroskopické hodnocení provedeno vždy na jednom vzorku s vyšší korozní rychlostí, ze kterého byly zhotoveny metalografické výbrusy vedenými kolmo přes obvodový svar.

Vlastní vyhodnocení hloubky korozního napadení exponovaných povrchů bylo provedeno v nenaleptaném stavu a následně i po částečném naleptání struktur základních materiálů i svarových spojů leptadlem Vogel při teplotě 80 °C.

Hodnocení bylo provedeno na světelném mikroskopu LEICA DMI5000M s videokamerou DFC 290. Vlastní měření hloubky korozního napadení bylo provedeno při zvětšení 400 až 1000x a hodnocené oblasti byly následně zdokumentovány na obrázcích uvedených v příloze P5.

U vzorků základních materiálů staré trubky (S) i nové trubky (N) a dále u svarů označených SS, NS, NN 01 a NN 05 nebyly zjištěny nepřijatelné korozní rychlosti a ani nebyly prokázány nepřijatelné hloubky selektivního korozního napadení.

U svarů NN 02 a NN 03 byly zjištěny vysoké (nepřijatelné) korozní rychlosti a ve shodě s tím i velké hloubky selektivního napadení, koroze přitom napadá přednostně svarový kov, viz obr. 6.5 a obr. 6.6.

Vzorek NN 04 je z hlediska korozní rychlosti vyhovující, avšak selektivní napadení svaru ze strany kořene je nevyhovující.



Obr. 6.5: Vzorky po skončení Huey-testu, lící strana z leva NN02, NN03, NN04, NN05



Obr. 6.6: Vzorky po skončení Huey-testu, kořen z leva NN02, NN03, NN04, NN05

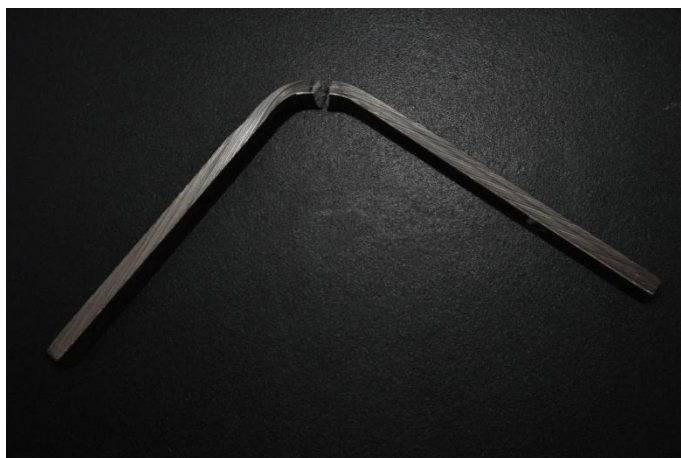
7 Diskuze výsledků

Zkoušky byly provedeny na svarových spojích trubek Ø 101,6 mm z materiálu 1.4429 tj. oceli tzv. močovinové jakosti, které byly svařeny různými přídavnými materiály a různými metodami svařování. Kromě svařování nových trubek bylo odzkoušeno svaření starých, provozem poškozených trubek a svaření staré a nové trubky.

Nedestruktivními metodami nebyly zjištěny u provedených svarových spojů ve většině případů podstatné vady. Vizualní kontrole všechny svary vyhověly. Při zkoušce prozářením byly zjištěny u svaru NN 02 póry, dutiny a studené spoje a svar byl hodnocen jako nevyhovující, stejně tak nevyhověl penetrační zkoušce, kdy byly na povrchu v ukončení svaru zjištěny kráterové trhlinky. V tomto případě se jednalo o chybu svářeče a nikoli o chybu metody, hodnocení svářeče však není předmětem této práce. Vzorky pro destruktivní zkoušky byly potom odebrány pokud možno z míst, kde se výše uvedené vady nevyskytovaly nebo vyskytovaly v menším množství.

Při zkoušce tahem byly u většiny svarů zjištěny hodnoty, které vyhovují předpisu pevnosti pro ocel 1.4429, který se pohybuje v intervalu 580 až 800 MPa. Pouze u spoje NN 02 byla zjištěna nižší hodnota (575 MPa). Protože k přetržení tyče došlo při zkoušce tahem ve svaru, byla nižší pevnost způsobena opět přítomností zjištěných vad ve svaru.

Zkoušce lámavosti vyhověly opět všechny svary kromě svaru NN 02, u kterého došlo v důsledku přítomnosti bublin a pórů v kořeni svaru k prasknutí zkušební tyče již při úhlu 110° viz obr. 7.1. Ostatní tyče vyhověly bez vad při úhlu ohybu 180°.



Obr. 7.1: Vzorek NN 02 po zkoušce lámavosti

Makroskopicky nebyly na připravených makrovýbrusech svarových spojů zjištěny u žádného vzorku nepřipustné vady typu trhlín, studených spojů ani vady přípustné např. póry.

Stejně tak geometrie svarů je vyhovující a makrostruktura svarů nevykazuje vady jako je nekovové spojení, nadměrná šířka tepelného ovlivnění svařovaných částí za linií natavení apod.

Mikroskopicky byly kromě svarů hodnoceny i základní materiály svařovaných trubek. Struktura staré i nové trubky je austenitická s nepatrným množstvím δ -feritu a odpovídá stavu po rozpouštěcím žitání, tzn. hranice zrn i samotná zrna austenitu jsou „čisté“ bez vyloučených karbidických částic. U staré trubky S byla na vnitřním povrchu zjištěna interkrystalická koroze, která vznikla v důsledku působení provozních podmínek. Vnější povrch trubky S a oba povrchy trubky N jsou bez podstatných defektů.

Struktura samotných svarových spojů ani tepelně ovlivněných zón nevykazuje nepřipustné anomálie. Ve všech případech je tvořena austenitickou maticí s výskytem různého množství drobného precipitátu po hranicích zrn a především s různým obsahem δ -feritu. Svary s nejmenším obsahem δ -feritu jsou SS, NS a NN 01 (naměřeno 0 až 0,23% δ -feritu), a podle vzrůstajícího naměřeného průměrného obsahu δ -feritu jsou svary seřazeny v tomto pořadí: NN 02, NN 04, NN 05 a NN 03, kde bylo naměřeno až 7,7% δ -feritu. V tepelně ovlivněných zónách nedošlo k výraznému zhrubnutí zrn. U svaru NN 01 se na linii natavení vyskytuje studený spoj (neprůvar) o délce 0,7 mm, u svaru NN 02 je na linii natavení stejná vada o délce 0,3 mm. Jiné anomálie nebo defekty nebyly u hodnocených svarů mikroskopicky zjištěny.

Již při stanovení očekávané struktury svarového kovu pro jednotlivé druhy přídavných materiálů ze Schaefflerova nebo De Longova diagramu bylo předpokládáno, že nejmenší resp. nulový obsah δ -feritu by měly mít svary-vzorky SS, NS, a NN 01 s plně austenitickou strukturou. Zjištění strukturního stavu u těchto vzorků bylo provedeno z De Longova diagramu. Tento předpoklad se v podstatě potvrdil (naměřeny hodnoty δ -feritu 0–0,23%). Svařování u těchto vzorků proběhlo metodou svařování 141 s přídavným materiálem Thermanit 25/22H.

U vzorku NN02, jenž byl zavařen metodou svařování 141 s přídavným materiálem UTP A 25 35Nb, byl předpokládán strukturní stav s plně austenitickou strukturou bez δ -feritu. Strukturní stav byl zjišťován ze Schaefflerova diagramu (naměřeny hodnoty 0,4–0,55% δ -feritu).

Vzorek NN 03 byl zavařen metodou svařování 141 s přídavným materiálem OK TIGROD 318 Si a byl předpokládán strukturní stav s austenitickou maticí a s obsahem δ -feritu dle Schaefflera 4–7,7% a dle De Longa 5–9% (naměřeny hodnoty 5,1–7,7% δ -feritu). I zde předpokládané hodnoty prakticky odpovídaly skutečnosti.

Vzorek NN04 byl zavařen metodou svařování 141+111 s přídavným materiálem OK TIGROD 318 Si a OK 63.85. Strukturní stav byl předpokládán s austenitickou maticí a

s obsahem δ -feritu dle Schaefflera 2-4,5% a dle De Longa 1,7-6% (naměřeny hodnoty 0,3-1,7% δ -feritu).

Vzorek NN 05 byl svařen metodou svařování 111 s přídavným materiálem OK 63.85. Strukturní stav byl předpokládán s austenitickou matricí a obsahem δ -feritu dle Schaefflera 2-4,5 a dle De Longa 1,7-6% (naměřeny hodnoty 0,66-2,4% δ -feritu).

Při zkoušce korozní odolnosti – Huey testu byly zjištěny dva výrazně nevyhovující svary, a to NN 02 a NN 03, které nevyhověly již v 1. resp. 2. cyklu. Ve struktuře svaru NN 03 se vyskytuje zároveň nejvyšší obsah δ -feritu (až 7,7 %), který podstatně snižuje korozní odolnost - nejvyšší přípustná hodnota obsahu δ -feritu ve svarovém kovu jsou 2 %. U svaru NN 02, který byl proveden přídavným materiálem UTPA 25 35 Nb, je nevyhovující korozní odolnost způsobena vysokým obsahem uhlíku, na který se přednostně váže chrom a vytváří karbidy, tím je o chrom ochuzena okolní austenitická matrice, což pak vede ke snížení korozní odolnosti. Toto je způsobeno nedostatečnou stabilizací uhlíku niobem v austenitické matrici. Niobu by mělo být 8 až 10x %C. Tento předpoklad u tohoto přídavného materiálu není naplněn a zbylý nevázaný uhlík se účastní procesu, který byl popsán výše. Z obrázků 10.41 viz příloha P5 a 10.42 viz příloha P5, kde je dokumentované selektivní napadení tohoto vzorku, je zřejmé, že karbidy se vyloučily především po hranicích dendritických zrn, po kterých proniká koroze do svarového kovu.

Z hlediska korozní odolnosti, která je pro zařízení na výrobu močoviny rozhodujícím faktorem, jsou nejlepší svary SS, NS a NN 01, které byly provedeny přídavným materiálem Thermanit 25/22H. U těchto vzorků jsou nejmenší hmotnostní úbytky a především téměř nulové selektivní napadení. Korozní odolnost se nesnížila ani při svaření provozovaných trubek (svar SS) ani svařením provozované a nové trubky (svar NS).

Svary NN 04 a NN 05 jsou sice vyhovující, ale hmotnostní úbytky jsou už v posledních cyklech podstatně vyšší než u svarů SS, NS a NN 01 a rovněž selektivní napadení je především u svaru NN 04 výraznější.

8 Závěr

Pro části zařízení, na které jsou při výrobě močoviny z hlediska korozní odolnosti kladeny největší nároky, jako jsou např. stripovací kolony, vysokotlaké štěpné reaktory, je nutno volit technologický postup svařování dle WPS NN 01, NS, SS. Vzorky byly zavařeny metodou svařování 141 s přídavným materiálem Thermanit 25/22H. Touto metodou svařování lze vyrábět jak nová zařízení, tak ji lze použít k opravám již exploatovaného zařízení.

Pokud by docházelo k intenzifikaci výroby močoviny pomocí vyšších teplot a tlaků, tento svařovací postup by dával záruky, že by pokryl i zvýšené nároky na korozní odolnost v tomto prostředí a zároveň vyhověl požadavkům bezpečnosti svarového kovu proti trhlinám za tepla.

Technologický postup svařování dle WPS NN 04, který byl proveden metodou svařování 141+111 s přídavným materiálem OK TIGROD 318 Si a OK 63.85 a postup svařování dle WPS NN 05, který byl proveden metodou svařování 111 s přídavným materiálem OK 63.85, vzhledem k výsledkům korozní odolnosti již nelze použít na nejvíce namáhané části výroby močoviny korozním působením. Svary NN 04 a NN 05 jsou sice vyhovující, ale hmotnostní úbytky jsou už v posledních cyklech podstatně vyšší než u svarů SS, NS a NN 01 a rovněž selektivní napadení je především u svaru NN 04 výraznější. Tento postup svařování lze využít pouze pro méně korozně namáhané části výroby močoviny.

Technologický postup svařování dle WPS NN 02, který byl proveden metodou svařování 141 s přídavným materiálem UTPA 2535 Nb vzhledem k výsledkům korozní odolnosti již nelze použít pro svařování zařízení výroby močoviny. Korozní odolnost zde byla narušena nedostatečnou stabilizací uhlíku niobem (obsah niobu by měl být 8 až 10x %C, což u použitého přídavného materiálu nebylo naplněno) a zbylý obsah uhlíku se zde vázal přednostně na chrom vytvořením karbidů, čímž ochudil okolní austenitickou matici o chrom a tím v těchto oblastech podstatně snížil korozní odolnost. Nutno podotknout, že tento přídavný materiál byl vybírán, jako nejméně vyhovující s úmyslem ověřit metody zkoušení svarů.

Technologický postup svařování dle WPS NN 03, který byl proveden metodou svařování 141 s přídavným materiálem OK TIGROD 318 Si vzhledem k výsledkům korozní odolnosti je též nutné zamítnout.

Korozní odolnost u tohoto svařovacího postupu je výrazně snížena vysokým obsahem δ -feritu (až 7,7%), jehož maximální přípustná hranice je 2%.

9 Seznam použité literatury

- [1] ČSN EN ISO 3651 – 1.: *Stanovení odolnosti korozivzdorných ocelí mezikrystalové korozi*. Český normalizační institut 2000.
- [2] PLUHAŘ, J. a kol.: *Nauka o materiálech*. SNTL Praha, 1989.
- [3] N 11 767.: *Zkouška koroze v kyselině dusičné – Huey test*. Interní norma Unipetrol RPA.
- [4] Kolektiv autorů: *Materiály a jejich svařitelnost*. Česká svařečská společnost, Zerros Ostrava, 1999.
- [5] HRIVŇAK, I.: *Zvaranie a zvaritel'nosť materialov*. Nakladatelstvo STU, 2009.
- [6] ČSN EN 15614 – 1.: *Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů – Zkouška postupu svařování - Část 1: Obloukové a plamenové svařování ocelí a obloukové svařování niklu a slitin niklu*. Český normalizační institut 2005.
- [7] KAŠKA, V., MORAVEC, J., NEUMANN, H.: *Zvýšení životnosti potrubí z korozivzdorných ocelí u zařízení na výrobu močoviny v podniku Unipetrol RPA a.s.*. Ověřená technologie typ výstupu „Z“. Liberec 2010.
- [8] ČSN EN 287 – 1.: *Zkoušky svařování – Část 1: Oceli*. Český normalizační institut 2004.
- [9] NĚMEC, J.: *Svařování korozivzdorných a žáruvzdorných ocelí*. 2. vyd. Praha, 1975.
- [10] ČSN EN 1435.: *Nedestruktivní zkoušení svarů – Radiografické zkoušení svarových spojů*. Český normalizační institut 2004.
- [11] ČSN EN 12517.: *Nedestruktivní zkoušení svarů - Část 1: Hodnocení svarových spojů u oceli, niklu, titanu a jejich slitin při radiografickém zkoušení - Stupně přípustnosti*. Český normalizační institut 2006.
- [12] ČSN EN 1714.: *Nedestruktivní zkoušení svarů – Zkoušení svarových spojů ultrazvukem*. Český normalizační institut 2003.
- [13] ČSN EN 895.: *Destruktivní zkoušky svarových spojů kovových materiálů – Příčná zkouška tahem*. Český normalizační institut 1997.
- [14] ČSN EN 876.: *Destruktivní zkoušky svarových spojů kovových materiálů – Podélná zkouška tahem svarového kovu tavného svarového spoje*. Český normalizační institut 1998.

- [15] ČSN EN 7438.: *Kovové materiály – Zkouška ohybem*. Český normalizační institut 2006.
- [16] ČSN EN 910.: *Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů – Zkoušky lámavosti*. Český normalizační institut 1998.
- [17] ČSN EN 1321.: *Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů – Makroskopická a mikroskopická kontrola svarů*. Český normalizační institut 1998.
- [18] ČSN EN ISO 6520 – 1.: *Svařování a příbuzné procesy – Klasifikace geometrických vad kovových materiálů*. Český normalizační institut 2003.
- [19] ČSN EN ISO 5817.: *Svařování a příbuzné procesy – Klasifikace geometrických vad kovových materiálů*. Český normalizační institut 2003.
- [20] ČSN EN ISO 970.: *Nedestruktivní zkoušení tavných svarů – Vizuální kontrola*. Český normalizační institut 1998.

10 Seznam příloh

Příloha P1.....	pWPS
Příloha P2.....	Protokol vizuální kontroly
Příloha P3.....	Protokol kapilární kontroly
Příloha P4.....	Protokoly rentgenových zkoušek
Příloha P5.....	Mikro a makro snímky

10.1 Příloha P1 – pWPS.

Unipetrol RPA

Číslo vzorku :
SPECIFIKACE PŘEDBĚŽNÉHO SVAŘOVACÍHO POSTUPU

pWPS NN01

Revize
0
List
1/1

Metoda svařování	141	Výrobce	Unipetrol RPA	Místo	Unipetrol RPA
Polotovary	T	Příprava	třískovým obráběním	Čištění	kartáčem, bruskou
Skupina materiálů	8.2	Základní materiál - A	1.4429	Základní materiál - B	1.4429
Typ svaru	BW	Zpracováno dle	ČSN EN ISO 15 607, 15 609-1 a 15 614-1		
Poloha svařování	PF				
Průměr D [mm]	101,6	Svářeč / razidlo	Pruchnicki Martin	E171	
Tloušťka T [mm]	8,0 (6,0)	Kvalifikace svářeče II	ČSN EN 287-1	141 T BW 8 S t8 D101,6 PF ss nb	

Příprava svarového spoje	Pořadí vrstev	Označení svaru

Přídavný materiál - I	Thermanit 25/22H	EN 12072	W 25 22 2 NL	AWS A-5.9	ER 310
Přídavný materiál - II	-	EN	-	AWS	-
Primární plyn EN 439	Ar99,998%	Přesušení I	-	Drážkování	ŽÁDNÉ
Průtočné množství	12 l/min	Předehřev	-	Dohřev	-
Sekundární plyn	Ar99,998%	Tepelné zp. teplota	ŽÁDNÉ	Prodleva	-
Průtočné množství	5 l/min	Rychlost ohřevu	-		
Interpass teplota	150°C	Rychlost ochlazování	-		
Poznámky	Platí též pro vzorky NS02, SS03 a SS04				
-					

Svarová housenka	0	1	2	3
Metoda svařování	EN 24 063	141	141	141
Přídavný materiál – výrobce		Böhler Thyssen WELDING		
Průměr přídavného materiálu Ø d	[mm]	2,0	2,0	2,0
Svařovací proud I _{sv}	[A]	68 – 74	88 – 94	88 – 94
Svařovací napětí U _{sv}	[V]	13,8	13,2	13,2
Druh proudu / polarita	[DC/+, /-, AC]	DC/-	DC/-	DC/-
Rychlost podávání drátu	[m/min]	-	-	-
Rychlost posuvu pojezdu	[m/min]	-	-	-
Rozkvy	[mm]	1 d	3 d	3 d
Typ / průměr wolframové elektrody	[mm]	WT20/2,0	WT20/2,0	WT20/2,0
Tepelný příkon	[kJ/mm]	(1,2)	(1,4)	(1,4)

Vypracoval:	Václav Kaška	Zkušební orgán nebo zkušební organizace	
Datum	02.05.2009	Datum	

Unipetrol RPA

Číslo vzorku :

pWPS NN02

SPECIFIKACE PŘEDBĚŽNEHO SVAŘOVACÍHO POSTUPU

Revize
0

List
1/1

Metoda svařování	141	Výrobce	Unipetrol RPA	Místo	Unipetrol RPA
Polotovar	T	Příprava	třískovým obráběním	Čištění	kartáčem, bruskou
Skupina materiálu	8.2	Základní materiál - A	1.4429	Základní materiál - B	1.4429
Typ svaru	BW	Zpracováno dle	ČSN EN ISO 15 607, 15 609-1 a 15 614-1		
Poloha svařování	PF				
Průměr D [mm]	101,6	Svářeč / razidlo	Kyncl František	E3	
Tloušťka T [mm]	8,0 (6,0)	Kvalifikace svářeče II	ČSN EN 287-1	141 T BW 8 S t8 D101,6 PF ss nb	

Příprava svarového spoje	Pořadí vrstev	Označení svaru

Přídavný materiál - I	UTP A 2535Nb	EN 12072	AWS A-5.9	ER 310
Přídavný materiál - II	-	EN	AWS	-
Primární plyn EN 439	Ar99,998%	Přesušení I	Drážkování	ŽADNĚ
Průtočné množství	12 l/min	Předehřev	Dohřev	-
Sekundární plyn	Ar99,998%	Tepelné zp. teplota	Prodleva	-
Průtočné množství	5 l/min	Rychlost ohřevu		-
Interpass teplota	150°C	Rychlost ochlazování		-
Poznámky				

Svarová housenka		0	1	2	3		
Metoda svařování	EN 24 063		141	141	141		
Přídavný materiál - výrobce			Böhler	Thyssen WELDING			
Průměr přídavného materiálu Ø d	[mm]		2,5	2,5	2,5		
Svařovací proud I _{sv}	[A]		66 – 74	94 – 97	94 – 97		
Svařovací napětí U _{sv}	[V]		10,1	10,1	10,1		
Druh proudu / polarita	[DC/+, /-, AC]		DC/-	DC/-	DC/-		
Rychlost podávání drátu	[m/min]		-	-	-		
Rychlost posuvu pojezdu	[m/min]		-	-	-		
Rozkvy	[mm]		1 d	3 d	3 d		
Typ / průměr wolframové elektrody	[mm]		WT20/2,0	WT20/2,0	WT20/2,0		
Tepelný příkon	[kJ/mm]		(1,2)	(1,4)	(1,4)		

Vypracoval:	Václav Kaška	Zkušební orgán nebo zkušební organizace	
Datum	02.05.2009	Datum	

Unipetrol RPA

Číslo vzorku :
SPECIFIKACE PŘEDBĚŽNÉHO SVAŘOVACÍHO POSTUPU

pWPS NN03
Revize 0 List 1/1

Metoda svařování	141	Výrobce	Unipetrol RPA	Místo	Unipetrol RPA
Polotovar	T	Příprava	triskovým obráběním	Čistění	kartáčem, bruskou
Skupina materiálu	8.2	Základní materiál - A	1.4429	Základní materiál - B	1.4429
Typ svaru	BW	Zpracováno dle	ČSN EN ISO 15 607, 15 609-1 a 15 614-1		
Poloha svařování	PF	Svářeč / razidlo	Kyncl František	E3	
Průměr D [mm]	101,6	Kvalifikace svářeče II	ČSN EN 287-1	141 T BW 8 S t8 DI01,6 PF ss nb	
Tloušťka T [mm]	8,0 (6,0)				

Příprava svarového spoje	Pořadí vrstev	Označení svaru
		T ∇

Přídavný materiál - I	OK TIGROD 318Si	EN 12072	AWS A-5.9	ER 310
Přídavný materiál - II	-	EN	AWS	-
Primární plyn EN 439	Ar99,998%	Přesušení I	Dražkování	ŽADNÉ
Průtočné množství	12 l/min	Předehřev	Dohřev	-
Sekundární plyn	Ar99,998%	Teplné zp. teplota	Prodleva	-
Průtočné množství	5 l/min	Rychlost ohřevu		-
Interpass teplota	150°C	Rychlost ochlazování		-
Poznámky				

Svarová housenka		0	1	2	3		
Metoda svařování	EN 24 063		141	141	141		
Přídavný materiál – výrobce			ESAB				
Průměr přídavného materiálu Ø d	[mm]		2,5	2,5	2,5		
Svařovací proud I _{sv}	[A]		66 – 74	94 – 97	94 – 97		
Svařovací napětí U _{sv}	[V]		10,1	10,1	10,1		
Druh proudu / polarita	[DC/+, /-, AC]		DC/-	DC/-	DC/-		
Rychlost podávání drátu	[m/min]		-	-	-		
Rychlost posuvu pojezdu	[m/min]		-	-	-		
Rozkvy	[mm]		1 d	3 d	3 d		
Typ / průměr wolframové elektrody	[mm]		WT20/2,0	WT20/2,0	WT20/2,0		
Teplný příkon	[kJ/mm]		(1,2)	(1,4)	(1,4)		

Vypracoval: Václav Kaška	Zkušební orgán nebo zkušební organizace
Datum 02.05.2009	Datum

Unipetrol RPA

Číslo vzorku :
SPECIFIKACE PŘEDBĚŽNÉHO SVAŘOVACÍHO POSTUPU

pWPS NN04
Revize 0 List 1/1

Metoda svařování	141/111	Výrobce	Unipetrol RPA	Místo	Unipetrol RPA
Polotovar	T	Příprava	třískovým obráběním	Čistění	kartáčem, bruskou
Skupina materiálu	8.2	Základní materiál - A	1.4429	Základní materiál - B	1.4429
Typ svaru	BW	Zpracováno dle	ČSN EN ISO 15 607, 15 609-1 a 15 614-1		
Poloha svařování	PF				
Průměr D [mm]	101.6	Svářeč / razidlo	Kyncl František	E3	
Tloušťka T [mm]	8,0 (6,0)	Kvalifikace svářeče II	ČSN EN 287-1	111 T BW 8 S t8 D101.6 PF ss nb	

Příprava svarového spoje	Pořadí vrstev	Označení svaru
		T ∇

Přidávaný materiál - I	OK TIGROD 318Si	EN 12072	AWS A-5.9	ER 310
Přidávaný materiál - II	OK 63.85	EN	-	-
Primární plyn EN 439	Ar99,998%	Přesušení I	-	-
Průtokné množství	12 l/min	Předehřev	-	-
Sekundární plyn	Ar99,998%	Tepelné zp. teplota	ZÁDNĚ	-
Průtokné množství	5 l/min	Rychlost ohřevu	-	-
Interpass teplota	150°C	Rychlost ochlazování	-	-
Poznámky				

Svarová housenka		0	1	2	3		
Metoda svařování			141	111	111		
Přidávaný materiál - výrobce			Böhler Thyssen WELDING/ESAB				
Průměr přidávaného materiálu Ø d	[mm]		2,5	2,5	2,5		
Svařovací proud I _{sv}	[A]		66-74	78-80	78-80		
Svařovací napětí U _{sv}	[V]		10,1	22	22		
Druh proudu / polarita	[DC/+, -, AC]		DC/-	DC/-	DC/-		
Rychlost podávání drátu	[m/min]		-	-	-		
Rychlost posuvu pojezdu	[m/min]		-	-	-		
Rozkvy	[mm]		1 d	3 d	3 d		
Typ / průměr wolframové elektrody	[mm]		WT20/2,0	WT20/2,0	WT20/2,0		
Tepelný příkon	[kJ/mm]		(1,2)	(1,4)	(1,4)		

Vypracoval:	Václav Kaška	Zkušební orgán nebo zkušební organizace	
Datum	02.05.2009	Datum	

Unipetrol RPA

Číslo vzorku :
SPECIFIKACE PŘEDBĚŽNÉHO SVAŘOVACÍHO POSTUPU

pWPS NN05
Revize 0 List 1/1

Metoda svařování	111	Výrobce	Unipetrol RPA	Místo	Unipetrol RPA
Polotovar	T	Příprava	triskovým obráběním	Čištění	kartáčem, bruskou
Skupina materiálu	8.2	Základní materiál - A	1.4429	Základní materiál - B	1.4429
Typ svaru	BW	Zpracováno dle	ČSN EN ISO 15 607, 15 609-1 a 15 614-1		
Poloha svařování	PF				
Průměr D [mm]	101,6	Svářeč / razídko	Kyncl František	E3	
Tloušťka T [mm]	8,0 (6,0)	Kvalifikace svářeče II	ČSN EN 287-1	111 T BW 8 S t8 D101,6 PF ss nb	

Příprava svarového spoje	Pořadí vrstev	Označení svaru

Přídavný materiál - I	OK 63.85	EN 12072	AWS A-5.9	ER 310
Přídavný materiál - II		EN	AWS	-
Primární plyn EN 439	Ar99,998%	Přesušení I	Drážkování	ŽÁDNÉ
Průtokné množství	12 l/min	Předehřev	Dohřev	-
Sekundární plyn	Ar99,998%	Tepelné zp. teplota	Prodleva	-
Průtokné množství	5 l/min	Rychlost ohřevu		-
Interpass teplota	150°C	Rychlost ochlazování		-
Poznámky				

Svarová housenka	0	1	2	3
Metoda svařování		111	111	111
Přídavný materiál - výrobce		ESAB		
Průměr přídavného materiálu Ø d	[mm]	2,5	2,5	2,5
Svařovací proud I _{sv}	[A]	78-80	78-80	78-80
Svařovací napětí U _{sv}	[V]	22	22	22
Druh proudu / polarita	[DC+/-, - AC]	DC/-	DC/-	DC/-
Rychlost podávání drátu	[m/min]	-	-	-
Rychlost posuvu pojezdu	[m/min]	-	-	-
Rozkvy	[mm]	1 d	3 d	3 d
Typ / průměr wolframové elektrody	[mm]	WT20/2,0	WT20/2,0	WT20/2,0
Tepelný příkon	[kJ/mm]	(1,2)	(1,4)	(1,4)

Vypracoval: Václav Kaška	Zkušební orgán nebo zkušební organizace
Datum 02.05.2009	Datum

WI-E-013

10.2 Příloha P2 – Protokol vizuální kontroly

Unipetrol RPA, s.r.o.		Zpráva číslo: 36a / 10
Záložní 1, 436 70 Litvínov, D.S.: 256 Oddělení zkušebny materiálu, defektoskopie a diagnostiky, tel.:476162853, fax:476162073, e-mail: vaclav.pokorny@unipetrol.cz		Zkoušení vizuální přímé - VT
Objednavatel p. Václav Kaška		Zkoušený předmět:
Závod, firma:		Vzorky svarů trubek Ø 101,6mm
Technik VTZ:		Výrobní číslo:
DS : Stavba:		Registrační číslo:
Zkoušení provedl: p. Pokorný, Gubani		
Číslo certifikátu: 101-01015, 101-00223		
Zkoušeno podle:	ČSN EN 970	Materiál :
Hodnoceno dle:	ČSN EN 5817	Osvětlení dle Luxmetru LUTRON:
Stupeň jakosti:	B	Měrky:
WPS číslo:		Lupa:
Datum zkoušení :	15.1.2010	Příprava povrchu:

Dílec, místo, označení, počet

Výsledek zkoušení

Vzorek SS	Tupý svar na trubce Ø 101,6 mm	Vyhovuje
Vzorek NS	Tupý svar na trubce Ø 101,6 mm	Vyhovuje
Vzorek NN01	Tupý svar na trubce Ø 101,6 mm	Vyhovuje
Vzorek NN02	Tupý svar na trubce Ø 101,6 mm	Vyhovuje
Vzorek NN03	Tupý svar na trubce Ø 101,6 mm	Vyhovuje
Vzorek NN04	Tupý svar na trubce Ø 101,6 mm	Vyhovuje
Vzorek NN05	Tupý svar na trubce Ø 101,6 mm	Vyhovuje

14.10.2010
Datum vystavení protokolu

1/1

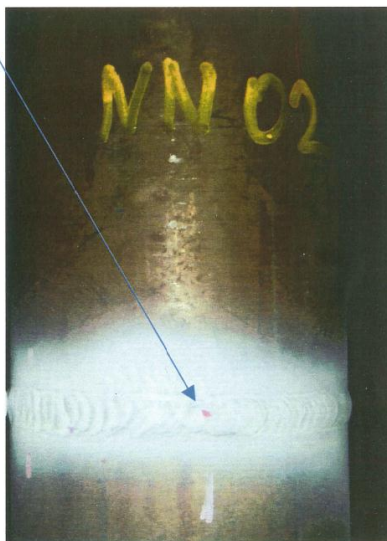
Schválil: **Pokorný V.**
Č. průkazu: 101-01015

10.3 Příloha P3 – Protokol kapilární kontroly

Unipetrol RPA, s.r.o. Záložní 1, 436 70 Litvínov, D.S.: 256 Oddělení zkušebny materiálu, defektoskopie a diagnostiky, tel.: 476162853, fax: 476162073 e-mail: vaclav.pokorny@unipetrol.cz		Zpráva číslo: 36 / 10	
Objednavatel p. Kaška Václav Závod, firma: Inelsev s.r.o. Dělnická 34, Most		Zkoušení kapilární metodou PT	
Zkoušení provedl: p. Gubani Číslo certifikátu: 101-00223		Zkoušený předmět: Vzorky svarů trubek Ø 101,6mm Výrobní číslo:	
Penetrant TIEDE-PEN: PWL-1	Penetrační čas: 15min		
Vývojka TIEDE-PEN: DL-20	Vývolávací čas: 5 - 30 min		
Čistič TIEDE-PEN: RL-40	Teplota předmětu: 18 °C		
Zkoušeno dle: ČSN EN 571-1	Materiál předmětu: 1.4429		
Hodnoceno dle: ČSN EN 1289	Kontrolovaný povrch: Odmaštěn		
Stupeň přípustnosti: 3X	Datum zkoušení: 15.1.2010		

Dílec	Místo kontroly	Výsledek zkoušení
Vzorek SS	Tupý svar na trubce Ø 101,6 mm	Vyhovuje
Vzorek NS	Tupý svar na trubce Ø 101,6 mm	Vyhovuje
Vzorek NN01	Tupý svar na trubce Ø 101,6 mm	Vyhovuje
Vzorek NN02	Tupý svar na trubce Ø 101,6 mm	Nevyhovuje *)
Vzorek NN03	Tupý svar na trubce Ø 101,6 mm	Vyhovuje
Vzorek NN04	Tupý svar na trubce Ø 101,6 mm	Vyhovuje
Vzorek NN05	Tupý svar na trubce Ø 101,6 mm	Vyhovuje

*) zjištěny kráterové trhlinky v ukončení svaru !



Unipetrol RPA

Zař. 1
436 70 Litvínov
IČ: 27587075, DIČ: CZ27587075
Schválil: **Pokorný V.**
Č. průkazu: 101-01015

Datum vystavení protokolu:
18.1.2010

1/1

10.4 Příloha P4 – Protokoly rentgenových zkoušek

Unipetrol RPA Litvínov - Záluží č.p. 1, PSČ 436 70 Oddělení defektoskopie a diagnostiky D.S. 256 tel.: 47-616-3634		Zpráva č.: 52388/08 Protokol o zkoušce prozářením							
Vyžádal: Inelsev s.r.o. Zákazník: p.Kaška Č. zakázky: - Č. hlášení: - Č. WPS: - DS: - Stavba: -		Kniha č.: 11/64 Listů: 1 List: 1 Strana: 88 Zkoušený předmět: Trubka pr.101,6 Pracovní zkoušky Výrobní číslo: - Registrační číslo: - Číslo výkresu: -							
Zkoušku provedl: Kubín Číslo certifikátu: 301-01611		Hodnotil: Kubín Číslo certifikátu: 301-01611 Datum zkoušky: 14.1.2010							
Zdroj záření: Balto320Kv/14mA; Se75 Napětí: 150 kV Proud: 10 mA Aktivita: 1541 GBq Ohnisko: 3x3;1,5 mm Materiál: 1.4429 Provozní tlak: 16,5 Mpa Provozní teplota: 200 °C Medium: karbaminan		Film: D7 Folie: Pb Třída radiogramu: B Počet drátků: W15 Měrka: 10FEEN Zprac. filmů: ruční Min. zčernání: 2,5 Filmů v kazetě: 1 Počet snímků: 24							
Zkouška dle: ČSN EN 1435 Hodnoceno dle: ČSN EN 12517 Klas. stupeň: 2 Rozsah kontroly: 100 % Geometrie svaru: - Metoda svařování: 141 Tepelné zpracování: - Svářeč: neuveden Č. razidla: -									
Posice	Číslo svaru	Ø DN	Tl. stěny	Číslo Razidla	Ohnisk. Vzdál.	Expozice	Číslo snímku	Vady	Vyhovuje
NN 01	1	101,6	8	-	700	90s.	P1	-	ano
-	-	-	-	-	-	-	P2	-	ano
-	-	-	-	-	-	-	P3	-	ano
-	-	-	-	-	-	-	P4	2011	ano
-	-	-	-	-	-	-	P5	-	ano
-	-	-	-	-	-	-	P6	2011	ano
NS 02	1	-	-	-	-	-	P7	2011	ano
-	-	-	-	-	-	-	P8	-	ano
-	-	-	-	-	-	-	P9	-	ano
-	-	-	-	-	-	-	P10	-	ano
-	-	-	-	-	-	-	P11	-	ano
-	-	-	-	-	-	-	P12	-	ano
SS 03	1	-	-	-	-	-	P13	-	ano
-	-	-	-	-	-	-	P14	2011	ano
-	-	-	-	-	-	-	P15	-	ano
-	-	-	-	-	-	-	P16	-	ano
-	-	-	-	-	-	-	P17	2011	ano
-	-	-	-	-	-	-	P18	-	ano
SS 04	1	-	-	-	-	-	P19	2011	ano
-	-	-	-	-	-	-	P20	2011	ano
-	-	-	-	-	-	-	P21	-	ano
-	-	-	-	-	-	-	P22	-	ano
-	-	-	-	-	-	-	P23	-	ano
-	-	-	-	-	-	-	P24	-	ano

Vady: 100-trhlina, 104-kráterová trhlina, 2011-bublina, 2012-dutiny, 2014-rádka dutin, 2017-povrchová dutina, 2013-shluky dutin, 2015-póry, 300-vměstky, 401-studený spoj, 402-neprovařený kořen, 501-zápal, 504-nadměrně propadlý kořen, 5041-krápníky, 515-hubený kořen, 601-dotek elektrodou, 602-rozstřík

Unipetrol RPA

Záruka
436 70 Litvínov
IČ: 1587075, DIČ: CZ27587075

8.4.2010
Datum:

1

Schválil: **Kubín I.**
Č.průkazu: **301-01611**

Kubín

Unipetrol RPA						Zpráva č.: 52388/08-1					
Litvinov - Záluží č.p. 1, PSČ 436 70 Oddělení defektoskopie a diagnostiky D.S. 256 tel.: 47-616-3634						Protokol o zkoušce prozářením					
Vyžádal: Inelsev s.r.o.						Kniha č.: 11/64 Listů: 1 List: 1					
Zákazník: p.Kaška						Strana: 88					
Č. zakázky: -						Zkoušený předmět: Trubka pr.101,6					
Č. hlášení: -						Pracovní zkoušky					
Č. WPS: -						Výrobní číslo: -					
DS: - Stavba: -						Registrační číslo: -					
						Číslo výkresu: -					
Zkoušku provedl: Kubín						Hodnotil: Kubín					
Číslo certifikátu: 301-01611						Číslo certifikátu: 301-01611					
Datum zkoušky: 14.1.2010											
Zdroj záření: ERESCO 200 MF						Film: D7					
Napětí: 140 kV						Folie: Pb					
Proud: 4,5 mA						Třída radiogramu: B					
Aktivita: - GBq						Počet drátků: W15					
Ohnisko: 3x3 mm						Měrka: 10FEEN					
Materiál: 1.4429						Zprac. filmů: ruční					
Provozní tlak: 16,5 Mpa						Min. zčernání: 2,5					
Provozní teplota: 200 °C						Filmů v kazetě: 1					
Medium: karbaminan						Počet snímků: 6					
Zkouška dle: ČSN EN 1435						Hodnoceno dle: ČSN EN 12517					
Klas. stupeň: 2						Rozsah kontroly: 100 %					
Geometrie svaru: -						Metoda svařování: 141					
Tepelné zpracování: -						Svářec: neuveden					
Č. razidla: -											
Posice Č.dílu	Číslo svaru	Ø DN	TL stěny	Číslo Razidla	Ohnisk. Vzdál.	Expo- zice	Číslo snímku	Vady		Vyhovuje	
SS 05	1	101,6	8	-	700	60s.	P25	2011	ano		
-	-	-	-	-	-	-	P26	-	ano		
-	-	-	-	-	-	-	P27	2011	ano		
-	-	-	-	-	-	-	P28	2011	ano		
-	-	-	-	-	-	-	P29	-	ano		
-	-	-	-	-	-	-	P30	2011	ano		
Vady: 100-trhlina, 104-kráterová trhlina, 2011-bublina, 2012-dutiny, 2014-řádka dutin, 2017-povrchová dutina, 2013-shluky dutin, 2015-póry, 300-vměstky, 401-studený spoj, 402-neprovařený kořen, 501-zápal, 504-nadměrně propadlý kořen, 5041-krápníky, 515-hubený kořen, 601-dotek elektrodou, 602-rozstřík											

Unipetrol RPA

Záluží 1
436 70 Litvinov
IČ: 21597075, DIČ: CZ27597075

8.4.2010
Datum:

1

Schválil: **Kubín I.**
Č.průkazu: **301-01611**

Kubín



Unipetrol RPA, s.r.o. Litvínov - Záluží č.p. 1, PSČ 436 70 Oddělení zkušebny materiálu, defektoskopie a diagnostiky D.S. 256 tel.: 47-616-3634				Zpráva č.: 53504/10 Protokol o zkoušce prozářením					
Vyžádal: Inelsev s.r.o. Zákazník: p.Kaška Č. zakázky: - Č. hlášení: - Č. WPS: - DS: - Stavba: -				Zkoušený předmět: Trubka pr.101,6 Výrobní číslo: - Registrační číslo: - Číslo výkresu: -					
Zkoušku provedl: Leitner Číslo certifikátu: 301-03635				Hodnotil: Kubín Číslo certifikátu: 301-01611		Datum zkoušky: 14.1.2010			
Zdroj záření: ERESCO 200MF Napětí: 140 kV Proud: 5,0 mA Aktivita: GBq Ohnisko: 3,5 mm Materiál: 1.4429 Provozní tlak: - Mpa Provozní teplota: - °C Medium: -		Film: D7 Folie: Pb Třída radiogramu: B Počet drátků: W15 Měrka: 10FEEN Zprac. filmů: ruční Min. zčernání: 2,5 Filmů v kazetě: 1 Počet snímků: 6		Zkouška dle: ČSN EN 1435 Hodnoceno dle: ČSN EN 12517 Klas. stupeň: 2 Rozsah kontroly: 100 % Geometrie svaru: - Metoda svařování: - Tepelné zpracování: - Svářeč: f.BIS Č. razidla: -					
Posice Č.dílu	Číslo svaru	Ø DN	Tl. stěny	Číslo Razidla	Ohnisk. Vzdál.	Expo- zice	Číslo snímku	Vady	Vyhovuje
NN02	1	101,6	8,0	-	700	180s.	R1	2011;2015;401	ne
-	-	-	-	-	-	-	R2	2011;401	ne
-	-	-	-	-	-	-	R3	2011; 401	ne
-	-	-	-	-	-	-	R4	2011;401	ne
-	-	-	-	-	-	-	R5	2011;401	ne
-	-	-	-	-	-	-	R6	2011;401	ne

Vady: 100-trhliny, 104-kráterová trhlina, 2011-bublina, 2012-dutiny, 2014-řádka dutin, 2017-povrchová dutina, 2013-shluky dutin, 2015-póry, 300-vměstky, 401-studený spoj, 402-neprovařený kořen, 501-zápál, 504-nadměrně propadlý kořen, 5041-krápníky, 515-hubený kořen, 601-dotek elektrodou, 602-rozstřík

Unipetrol RPA



Záluží 1
436 70 Litvínov
IČ: 27597075, DIČ: CZ27597075

8.4.2010
Datum:

1

Schválil: **Kubín I.**
Č.průkazu: **301-01611**

Kubín



Unipetrol RPA, s.r.o. Litvínov - Záluží č.p. 1, PSČ 436 70 Oddělení zkušebny materiálu, defektoskopie a diagnostiky D.S. 256 tel.: 47-616-3634					Zpráva č.: 53504/10-1 Protokol o zkoušce prozáření							
Vyžádal: Inelsev s.r.o. Zákazník: p.Kaška Č. zakázky: - Č. hlášení: - Č. WPS: - DS: - Stavba: -					Kniha č.: 13/64 Listů: 1 List: 1 Strana: 168 Zkoušený předmět: Trubka pr.101,6 Výrobní číslo: - Registrační číslo: - Číslo výkresu: -							
Zkoušku provedl: Leitner Číslo certifikátu: 301-03635					Hodnotil: Kubín Číslo certifikátu: 301-01611		Datum zkoušky: 14.1.2010					
Zdroj záření: ERESCO 200MF Napětí: 140 kV Proud: 5,0 mA Aktivita: GBq Ohnisko: 3,5 mm Materiál: 1.4429 Provozní tlak: - Mpa Provozní teplota: - °C Medium: -					Film: D7 Folie: Pb Třída radiogramu: B Počet drátků: W15 Měrka: 10FEEN Zprac. filmů: ruční Min. zčernání: 2,5 Filmů v kazetě: 1 Počet snímků: 6					Zkouška dle: ČSN EN 1435 Hodnoceno dle: ČSN EN 12517 Klas. stupeň: 2 Rozsah kontroly: 100 % Geometrie svaru: - Metoda svařování: - Tepelné zpracování: - Svářeč: f.BIS Č. razidla: -		
Posice	Číslo svaru	Ø DN	tl. stěny	Číslo Razidla	Ohnisk. vzdál.	Expozice	Číslo snímku	Vady		Vyhovuje		
NN03	1	101,6	8,0	-	700	180s.	R7	-		ano		
-	-	-	-	-	-	-	R8	2011;501		ano		
-	-	-	-	-	-	-	R9	-		ano		
-	-	-	-	-	-	-	R10	-		ano		
-	-	-	-	-	-	-	R11	2011		ano		
-	-	-	-	-	-	-	R12	2011		ano		
Vady: 100-trhlina, 104-kráterová trhlina, 2011-bublina, 2012-dutiny, 2014-řádka dutin, 2017-povrchová dutina, 2013-shluky dutin, 2015-póry, 300-vměstky, 401-studený spoj, 402-neprovařený kořen, 501-zápál, 504-nadměrně propadlý kořen, 5041-krápníky, 515-hubený kořen, 601-dotek elektrodou, 602-rozstřík												

8.4.2010
Datum:

1

Unipetrol RPA



Záluží 1
436 70 Litvínov
IČ: 27597075, DIČ: CZ27597075

Schválil: **Kubín I.**
Č. průkazu: **301-01611**

Kubín I.



Unipetrol RPA, s.r.o. Litvínov - Záluží č.p. 1, PSČ 436 70 Oddělení zkušebny materiálu, defektoskopie a diagnostiky D.S. 256 tel.: 47-616-3634				Zpráva č.: 53504/10-2 Protokol o zkoušce prozáření					
Vyžádal: Inelsev s.r.o. Zákazník: p.Kaška Č. zakázky: - Č. hlášení: - Č. WPS: - DS: - Stavba: -				Zkoušený předmět: Trubka pr.101,6 Výrobní číslo: - Registrační číslo: - Číslo výkresu: -					
Zkoušku provedl: Leitner Číslo certifikátu: 301-03635				Hodnotil: Kubín Číslo certifikátu: 301-01611		Datum zkoušky: 14.1.2010			
Zdroj záření: ERESCO 200MF Napětí: 140 kV Proud: 5,0 mA Aktivita: GBq Ohnisko: 3.5 mm Materiál: 1.4429 Provozní tlak: - Mpa Provozní teplota: - °C Medium: -				Film: D7 Folie: Pb Třída radiogramu: B Počet drátků: W15 Měrka: 10FEEN Zprac. filmů: ruční Min. zčernání: 2,5 Filmů v kazetě: 1 Počet snímků: 6		Zkouška dle: ČSN EN 1435 Hodnoceno dle: ČSN EN 12517 Klas. stupeň: 2 Rozsah kontroly: 100 % Geometrie svaru: - Metoda svařování: - Tepelné zpracování: - Svářeč: f.BIS Č. razidla: -			
Posice Č. dílu	Číslo svaru	Ø DN	Tl. stěny	Číslo Razidla	Ohnisk. Vzdál.	Expo- zice	Číslo snímku	Vady	Vyhovuje
NN04	1	101,6	8,0	-	700	180s.	R13	2011	ano
-	-	-	-	-	-	-	R14	-	ano
-	-	-	-	-	-	-	R15	2011	ano
-	-	-	-	-	-	-	R16	2011	ano
-	-	-	-	-	-	-	R17	-	ano
-	-	-	-	-	-	-	R18	-	ano

Vady: 100-trhliny, 104-kráterová trhlina, 2011-bublina, 2012-dutiny, 2014-rádka dutin, 2017-povrchová dutina, 2013-shluky dutin, 2015-póry, 300-vměstky, 401-studený spoj, 402-neprovařený kořen, 501-zápal, 504-nadměrně propadlý kořen, 5041-krápníky, 515-hubený kořen, 601-dotek elektrodou, 602-rozstřík

Unipetrol RPA

Záluží 1
436 70 Litvínov
IČ: 27597075, DIČ: CZ27597075

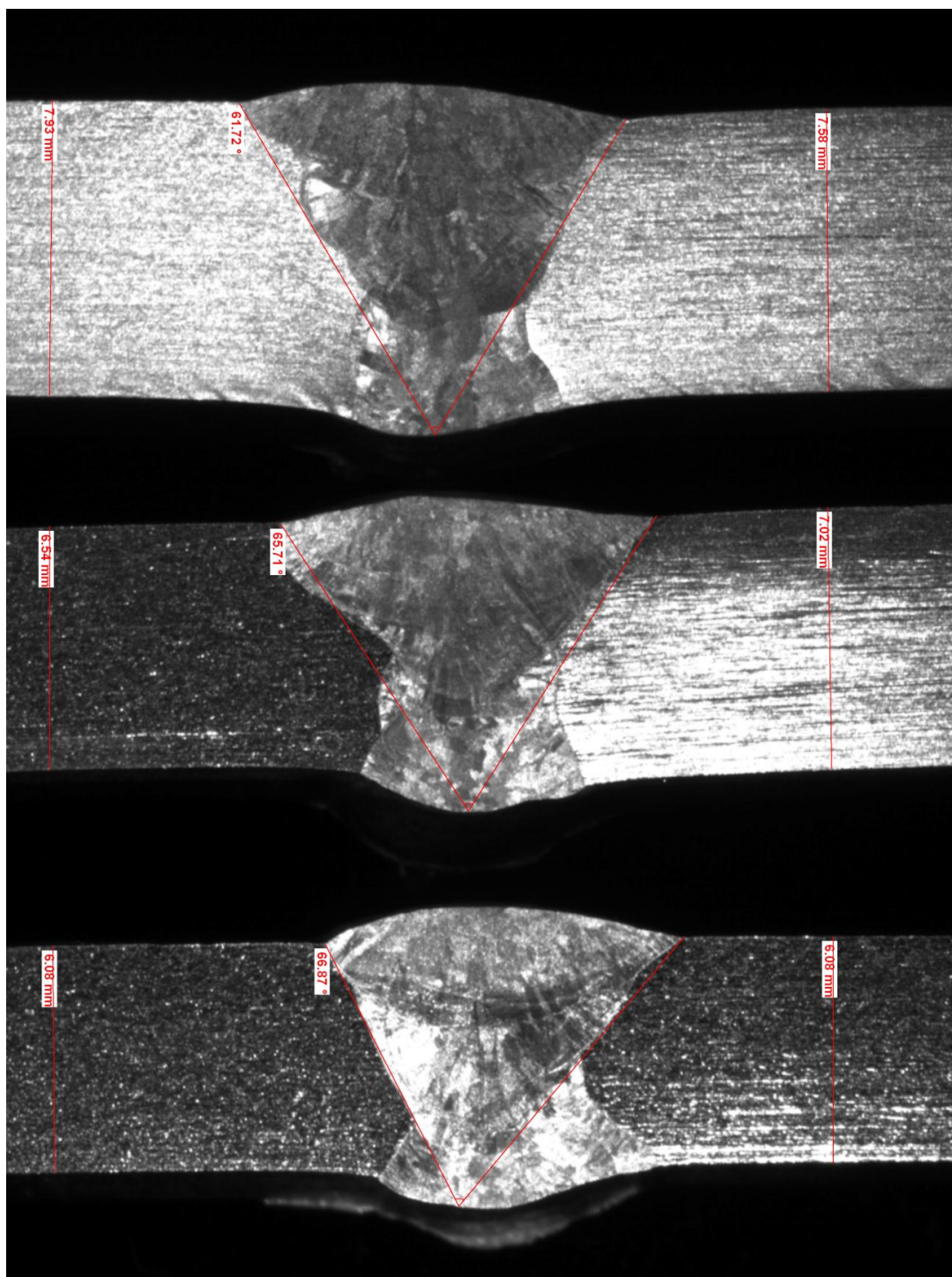
8.4.2010
Datum:

1

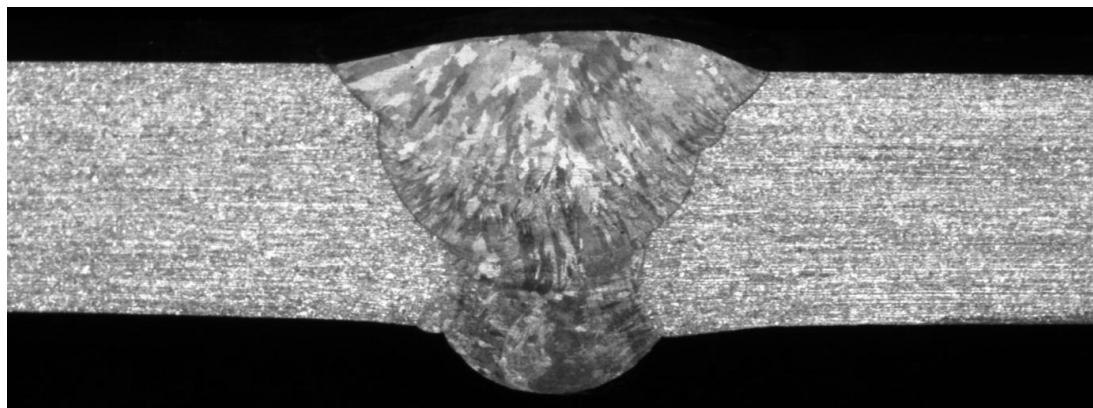
Schválil: **Kubín I.**
Č. průkazu: **301-01611**

Kubín

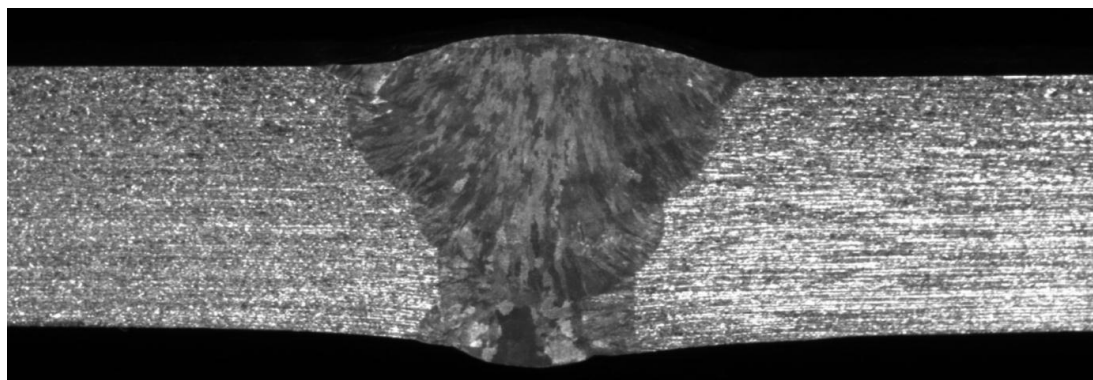
10.5 Příloha P5 – Mikro a makro snímky



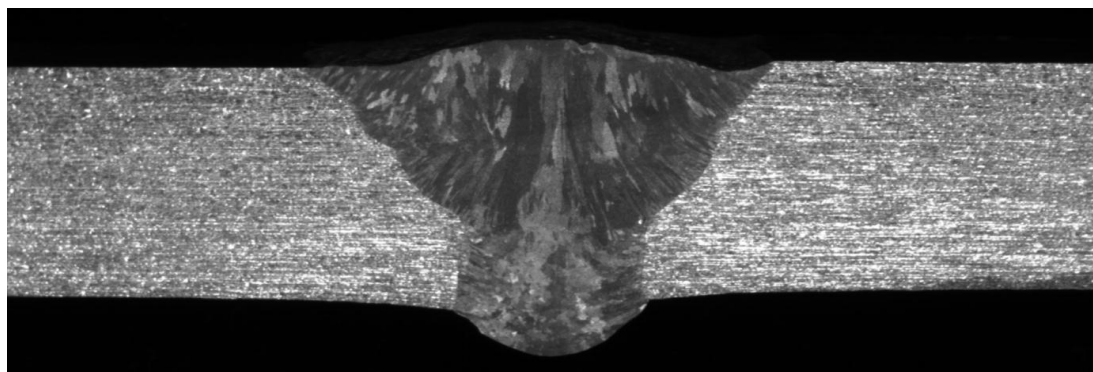
Obr. 10.1



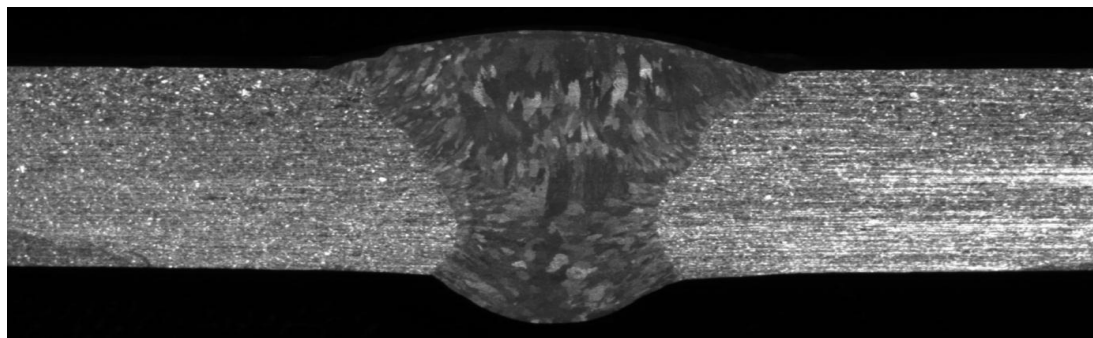
Obr. 10.2



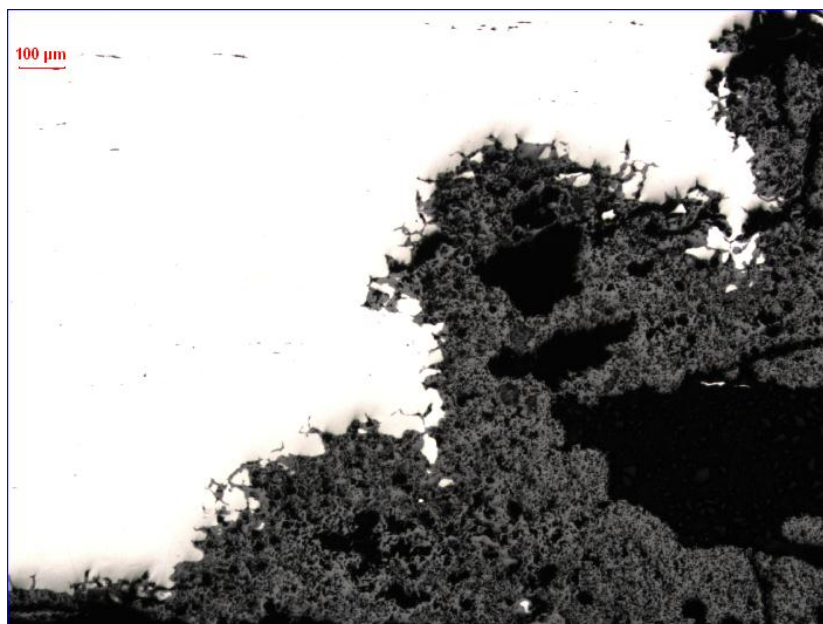
Obr. 10.3



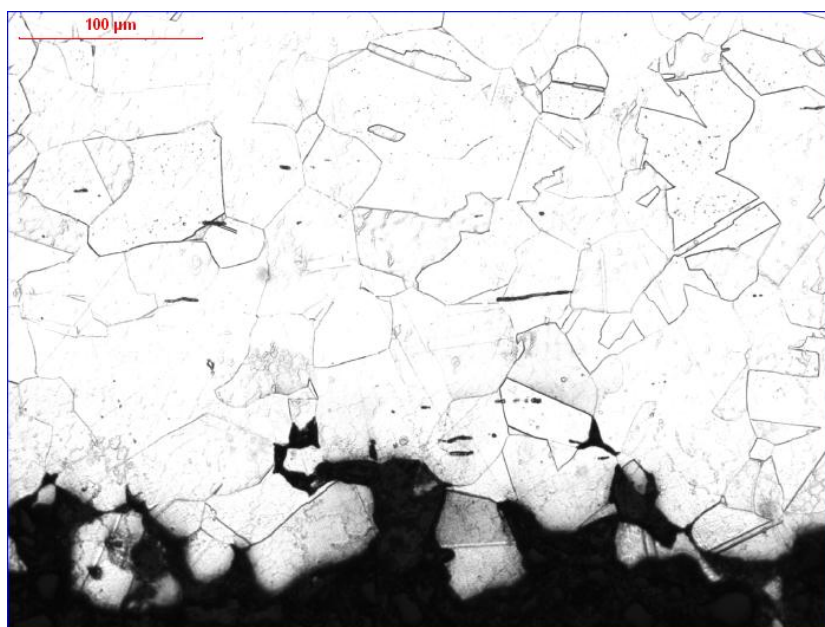
Obr. 10.4



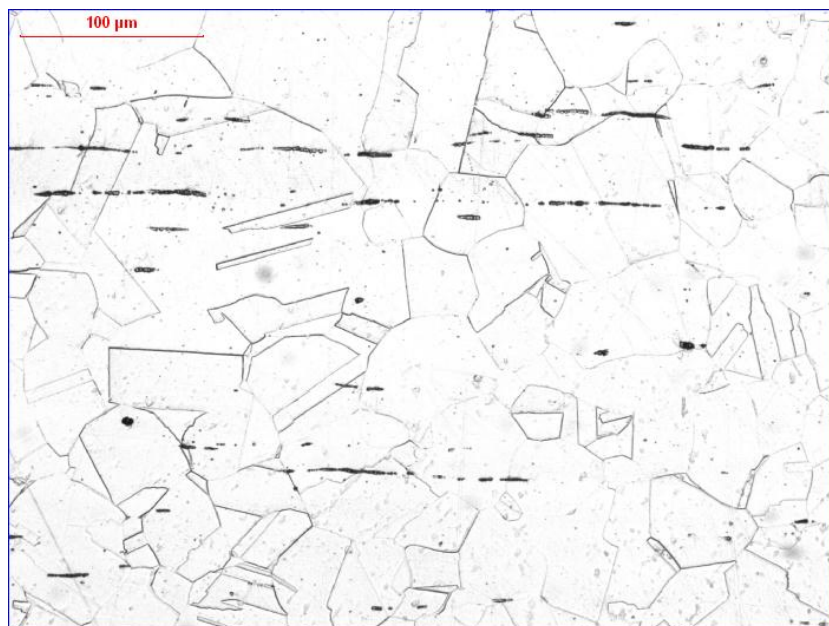
Obr. 10.5



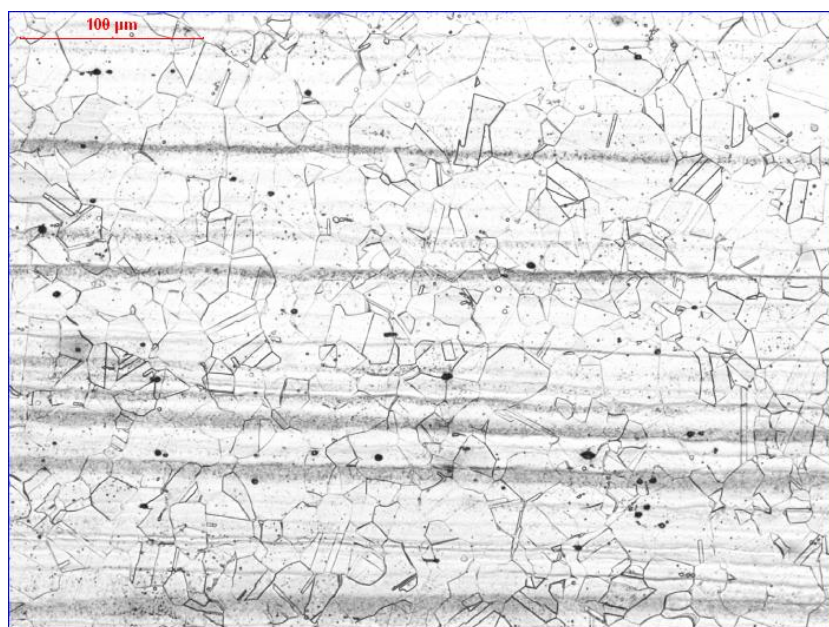
Obr. 10.6



Obr. 10.7



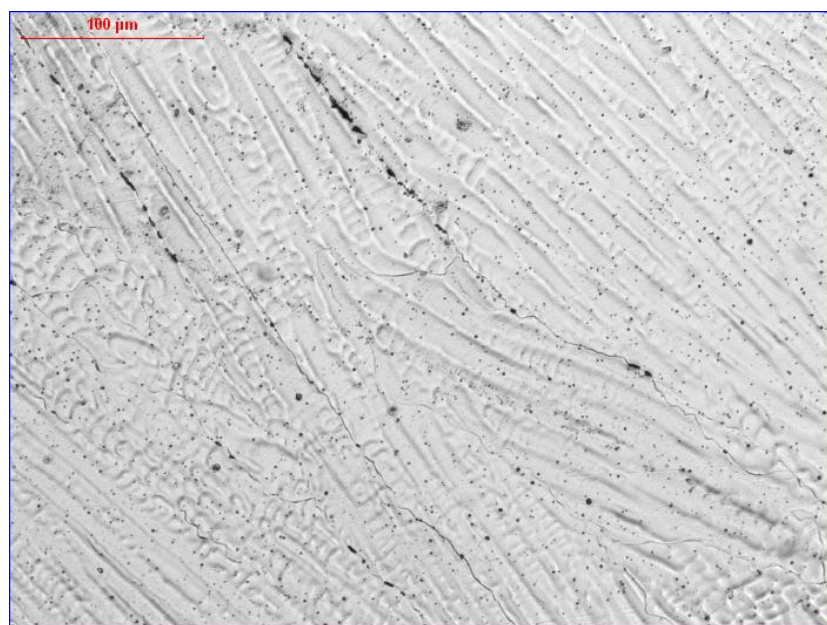
Obr. 10.8



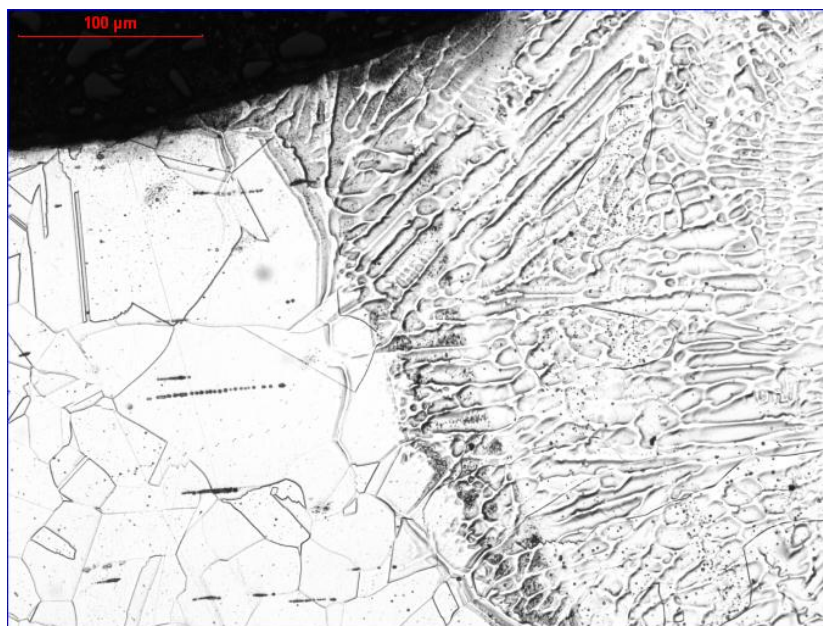
Obr. 10.9



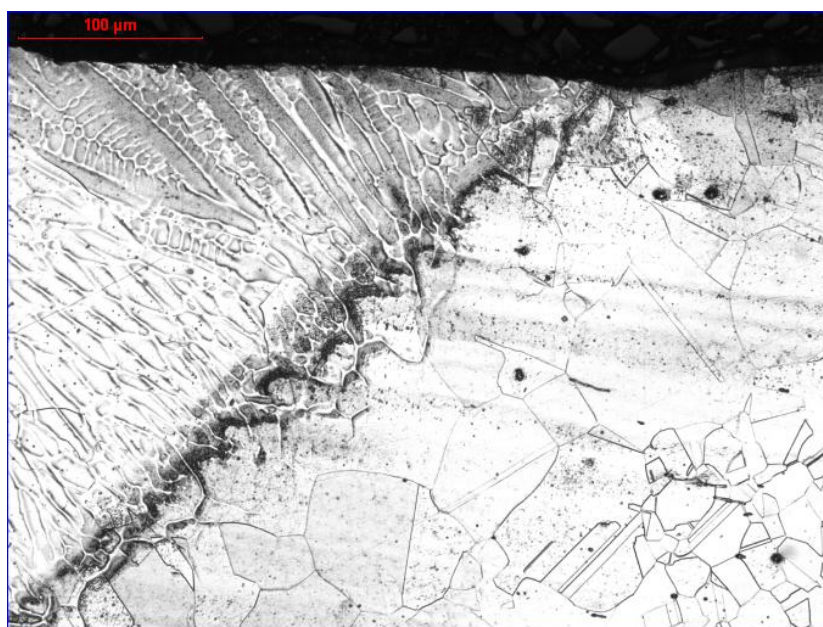
Obr. 10.10



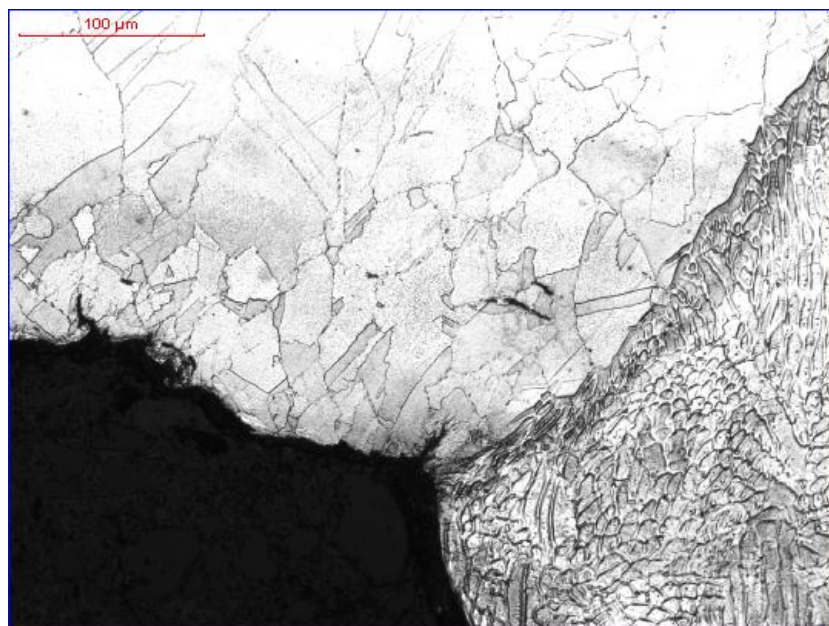
Obr. 10.11



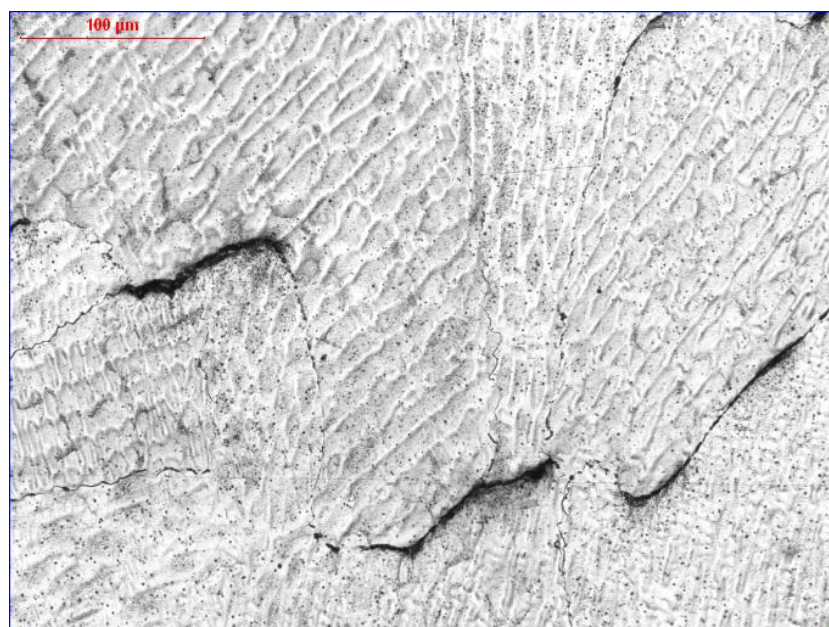
Obr. 10.12



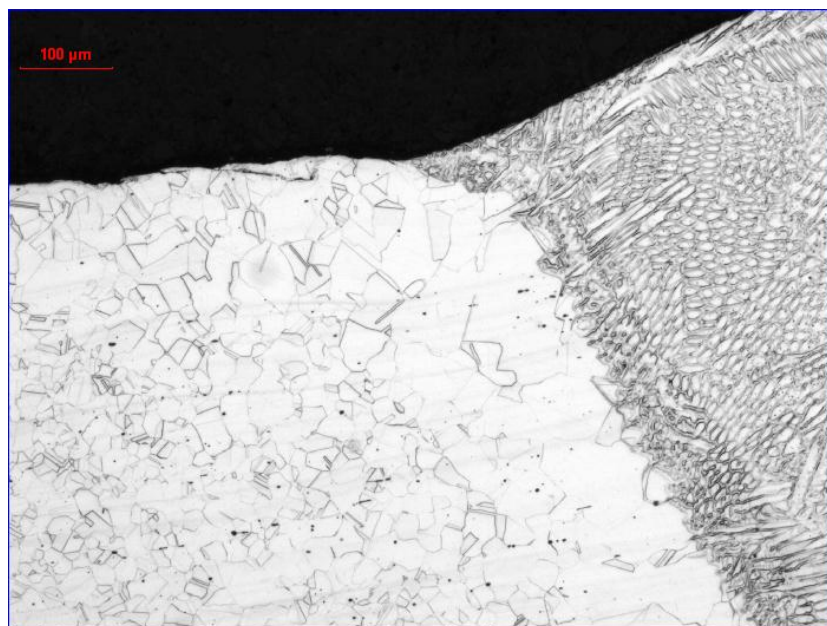
Obr. 10.13



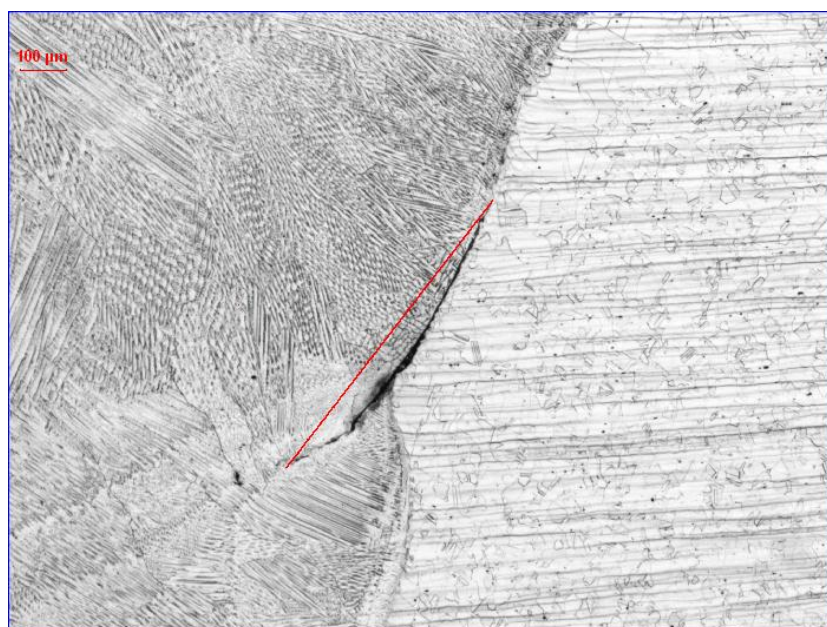
Obr. 10.14



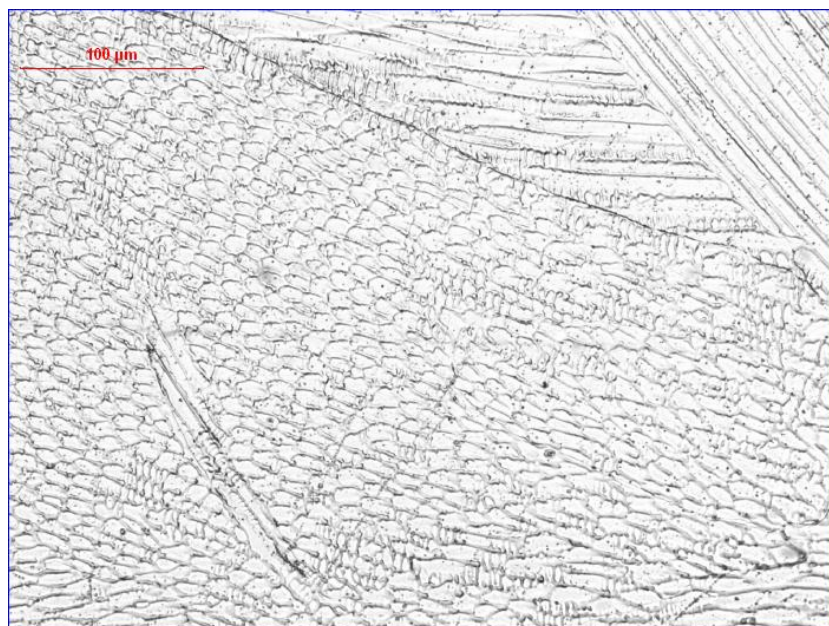
Obr. 10.15



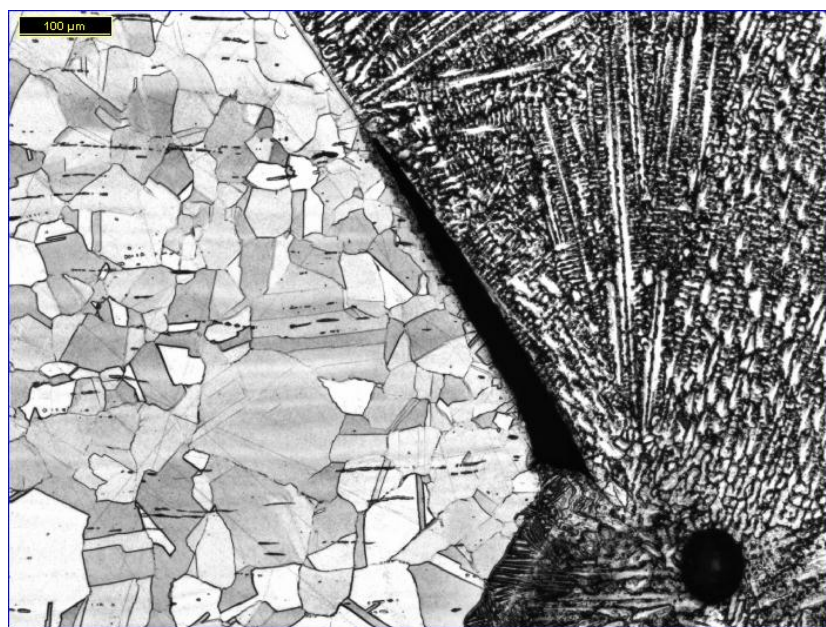
Obr. 10.16



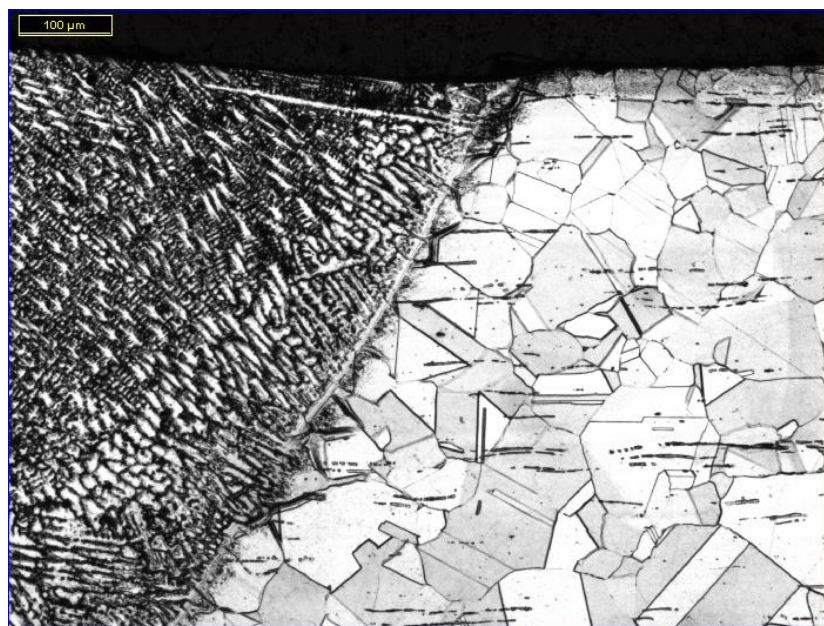
Obr. 10.17



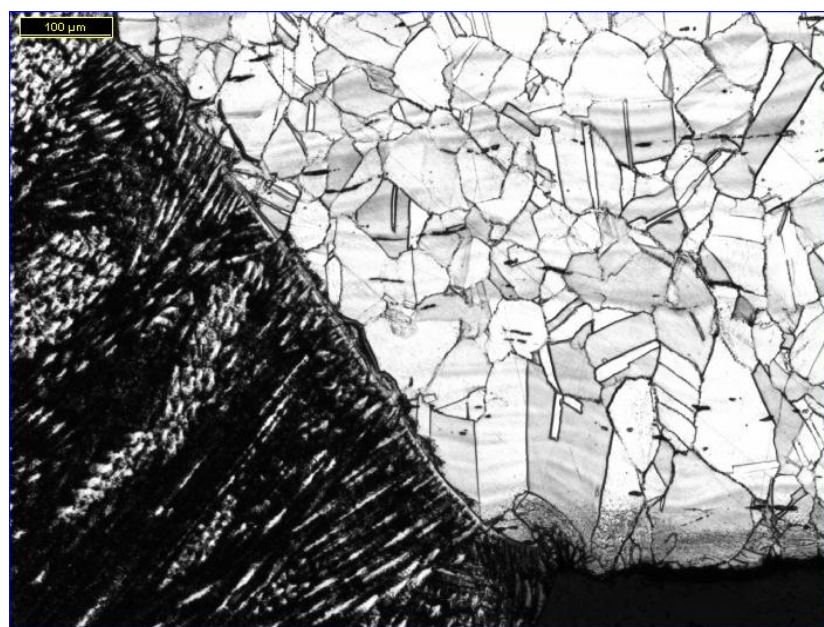
Obr. 10.18



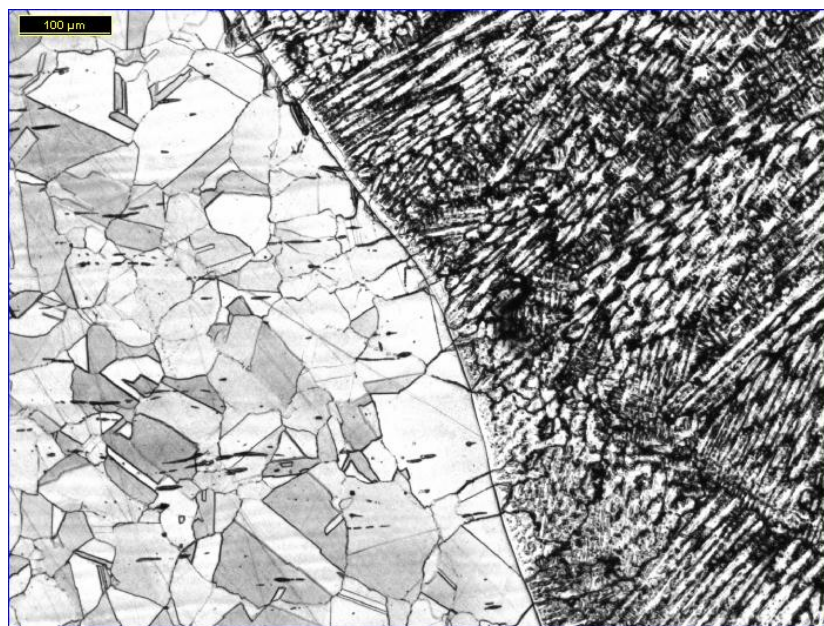
Obr. 10.19



Obr. 10.20



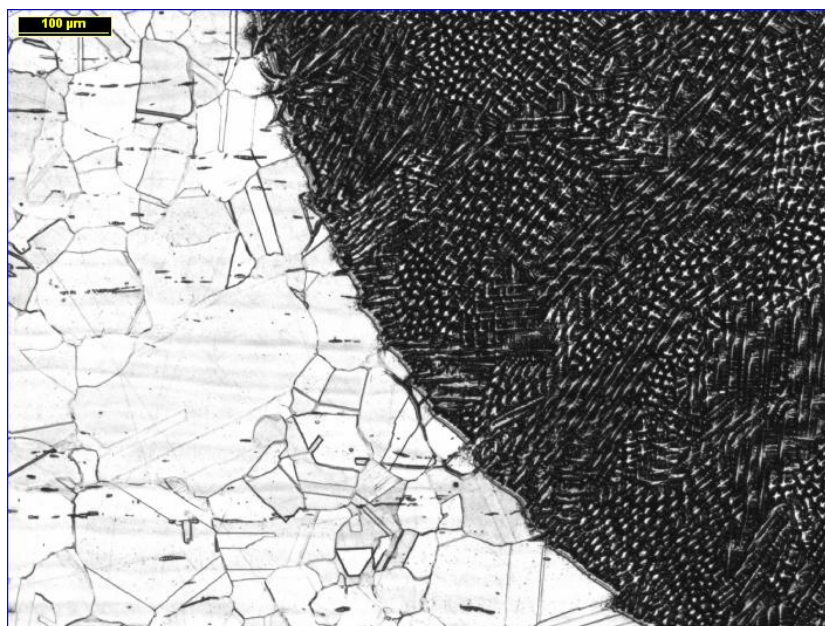
Obr. 10.21



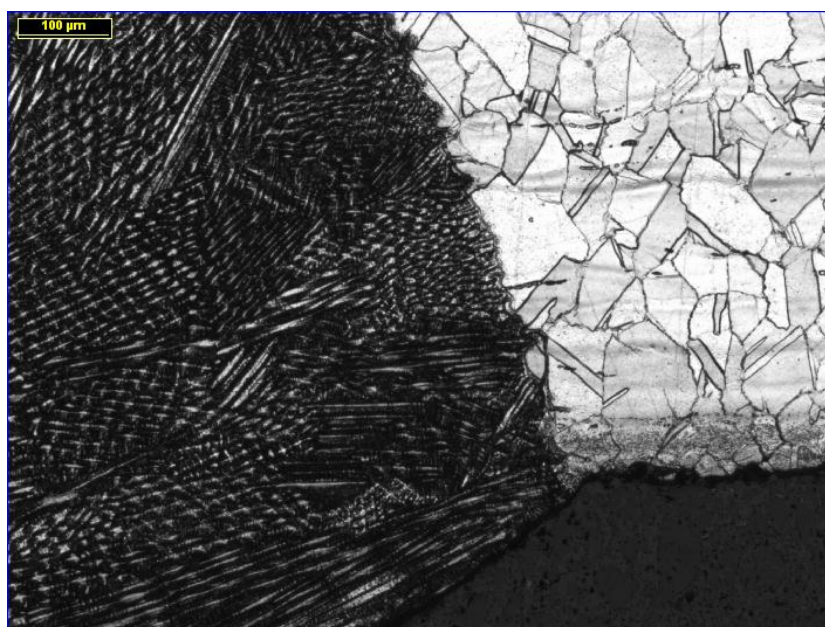
Obr. 10.22



Obr. 10.23



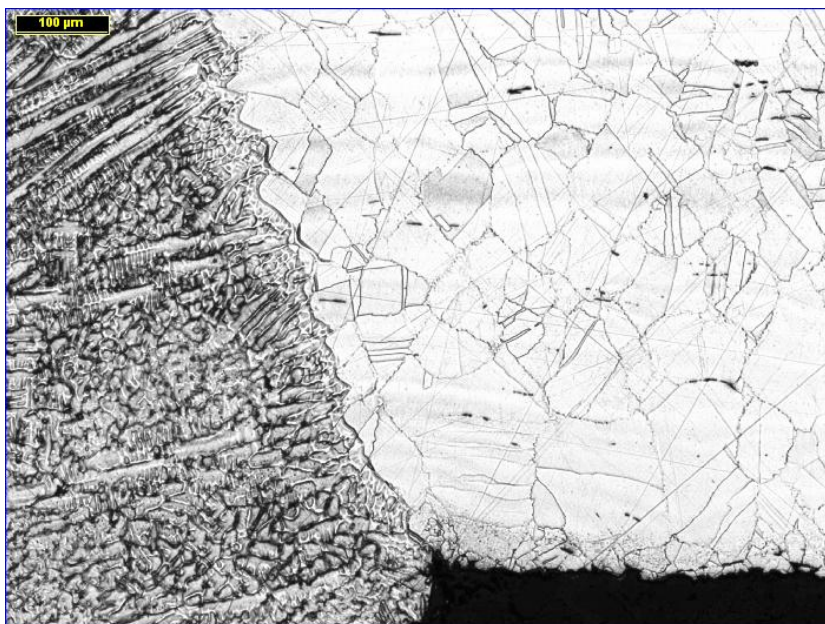
Obr. 10.24



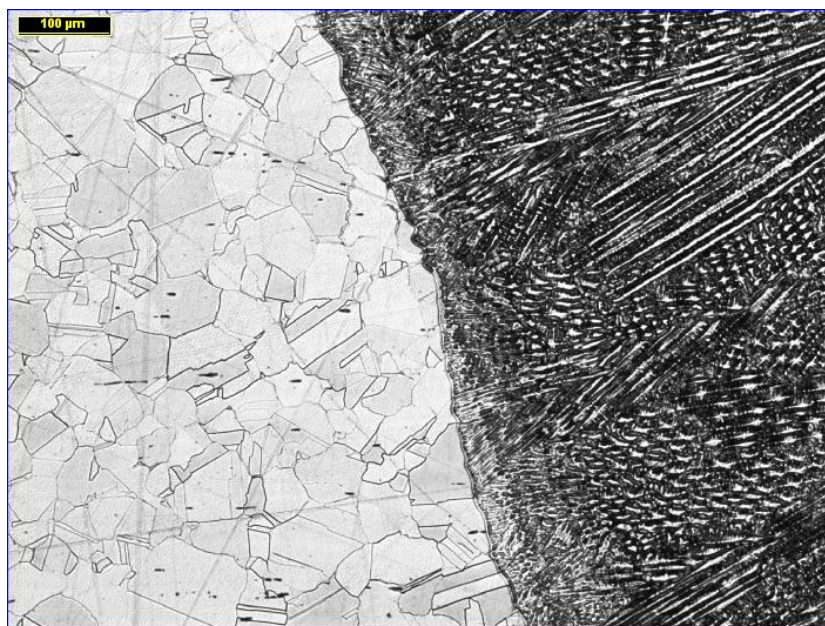
Obr. 10.25



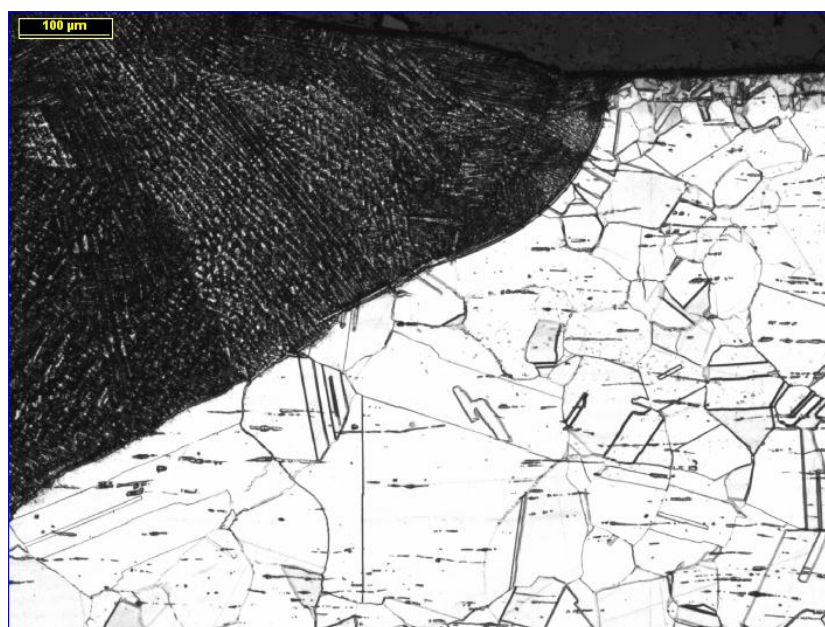
Obr. 10.26



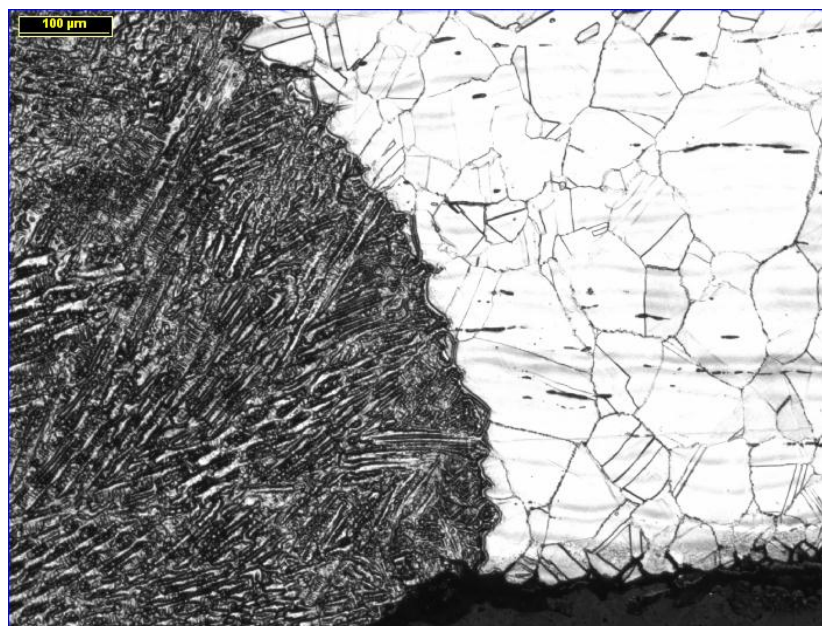
Obr. 10.27



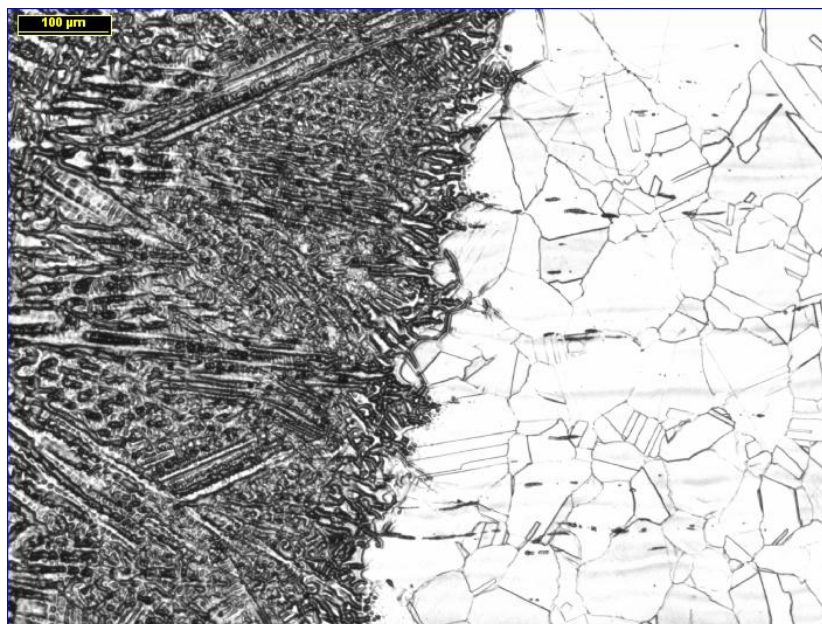
Obr. 10.28



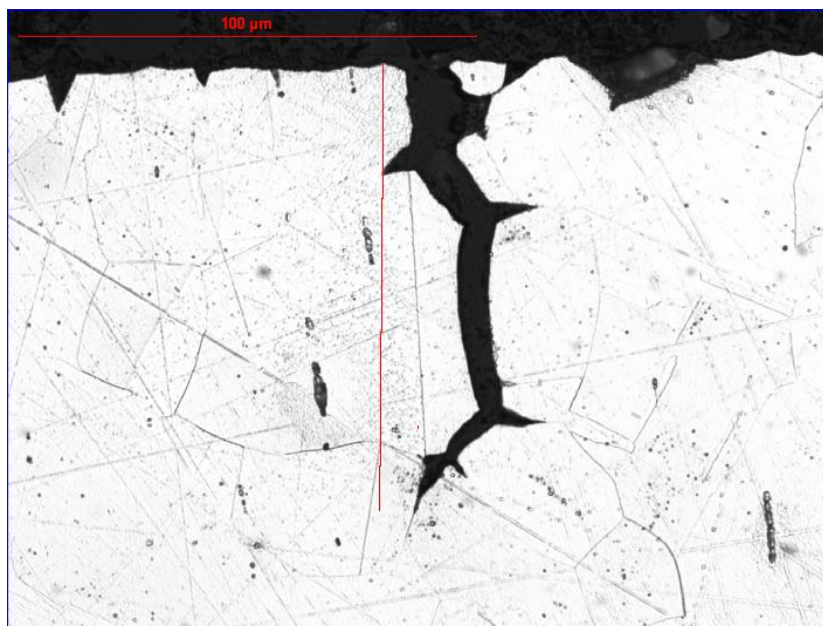
Obr. 10.29



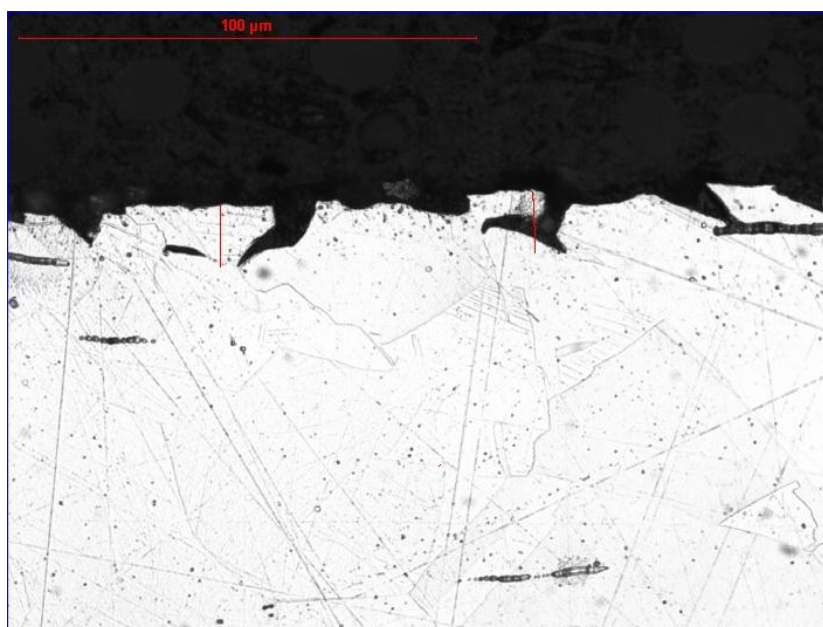
Obr. 10.30



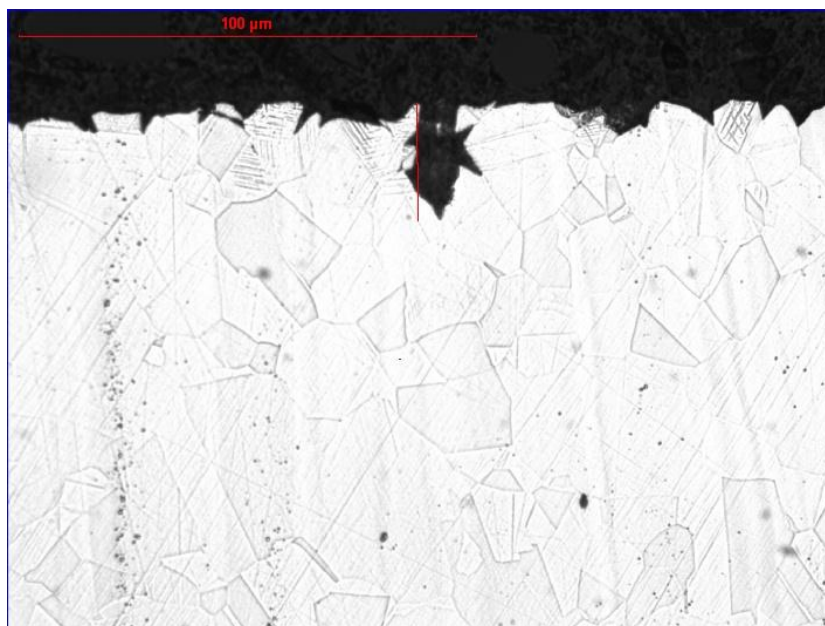
Obr. 10.31



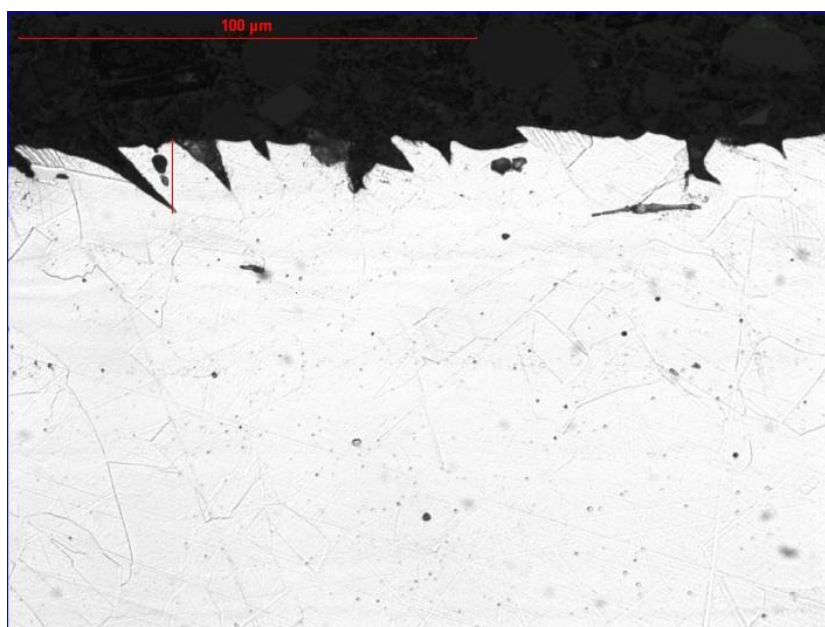
Obr. 10.32



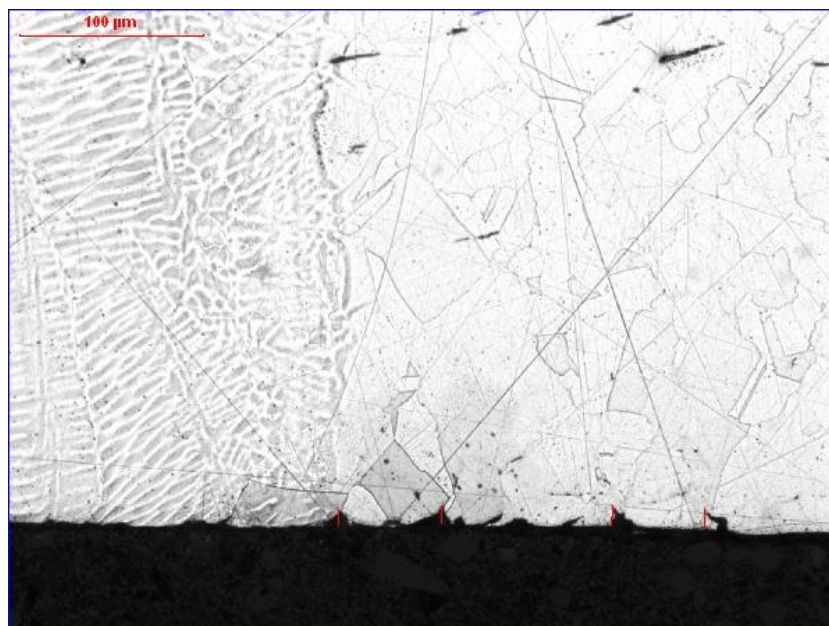
Obr. 10.33



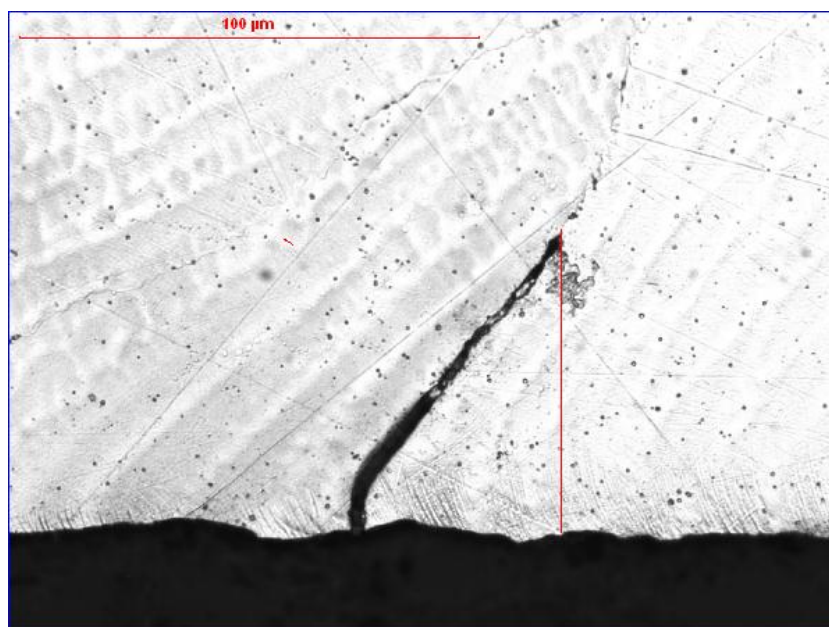
Obr. 10.34



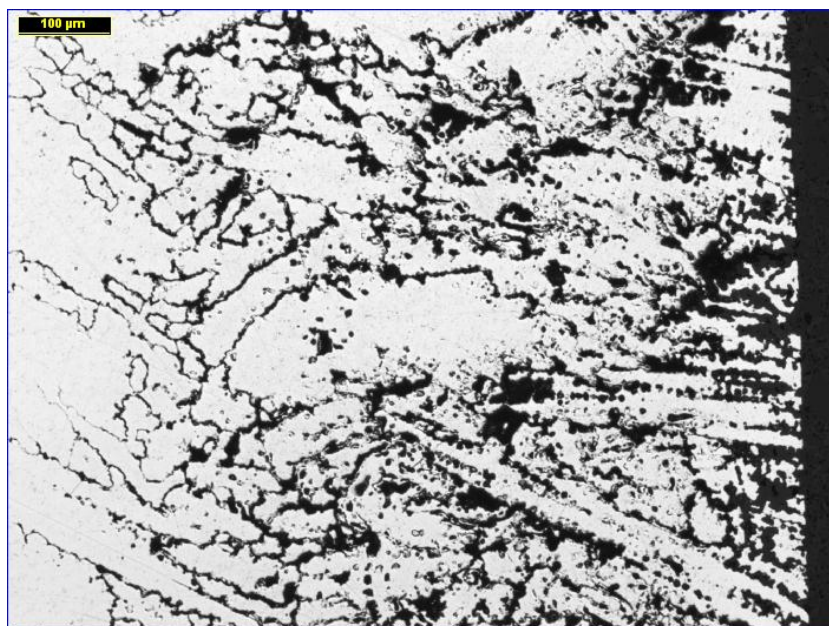
Obr. 10.35



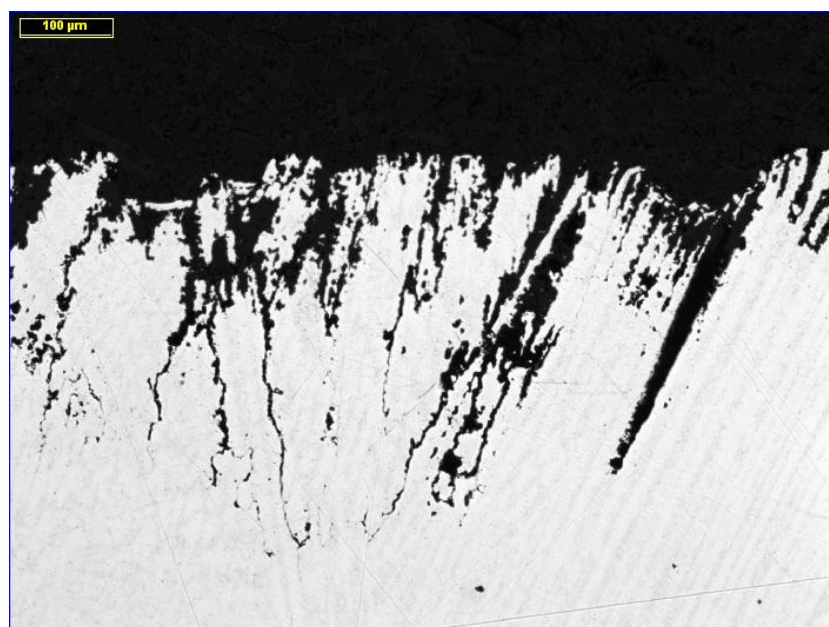
Obr. 10.36



Obr. 10.37



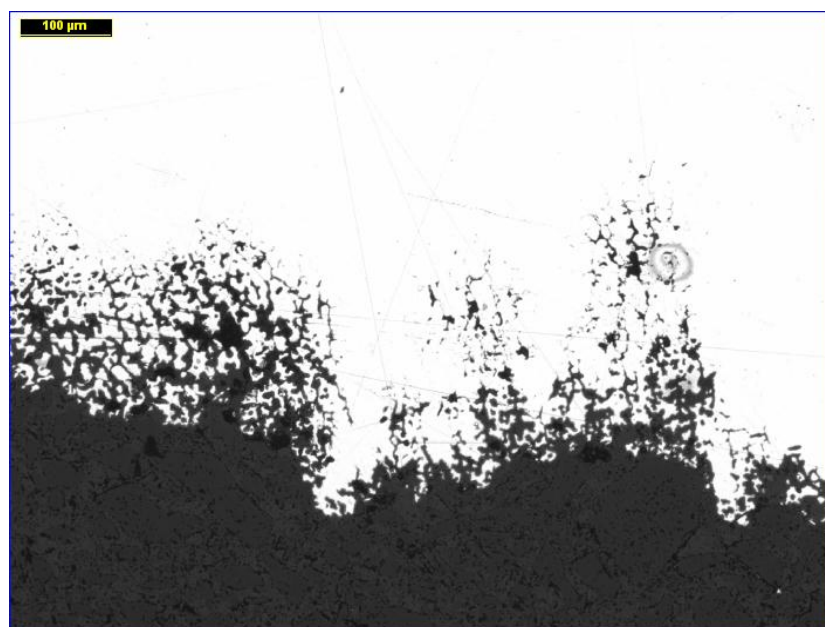
Obr. 10.38



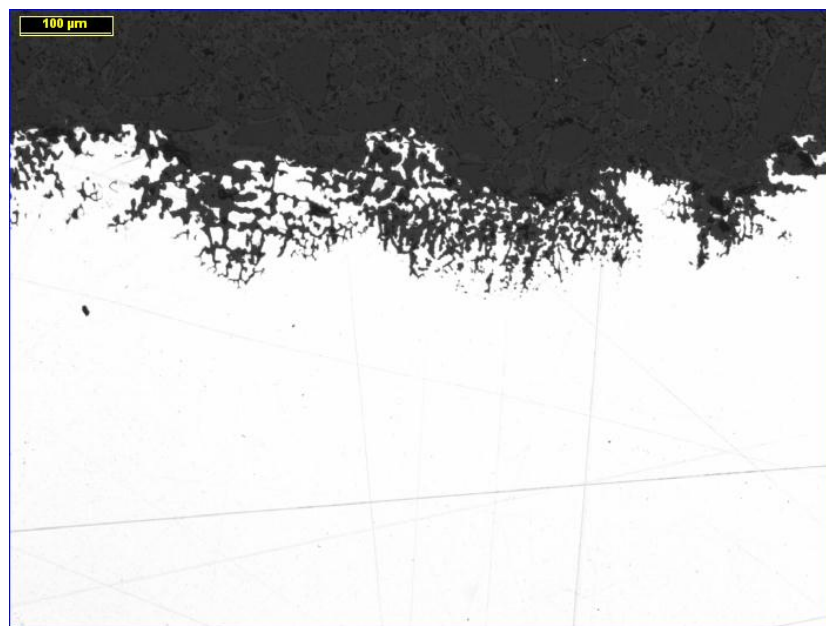
Obr. 10.39



Obr. 10.40



Obr. 10.41



Obr. 10.42



Obr. 10.43



Obr. 10.44



Obr. 10.45



Obr. 10.46



Obr. 10.47

Prohlášení

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv

užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti

informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu

nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: 5. ledna 2011

Podpis:

Declaration

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date: 5. January 2011

Signature: